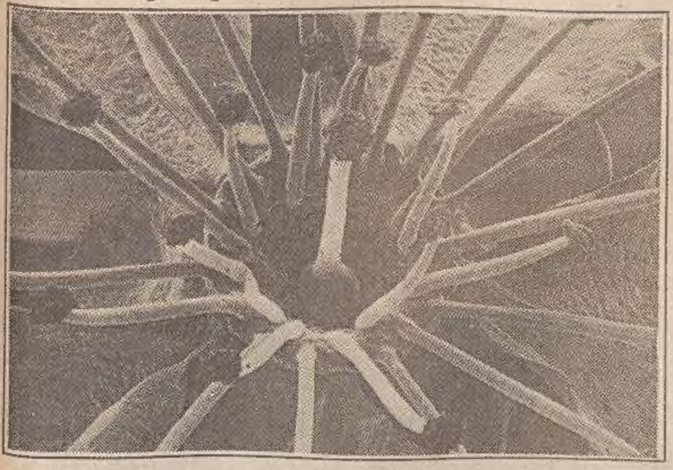
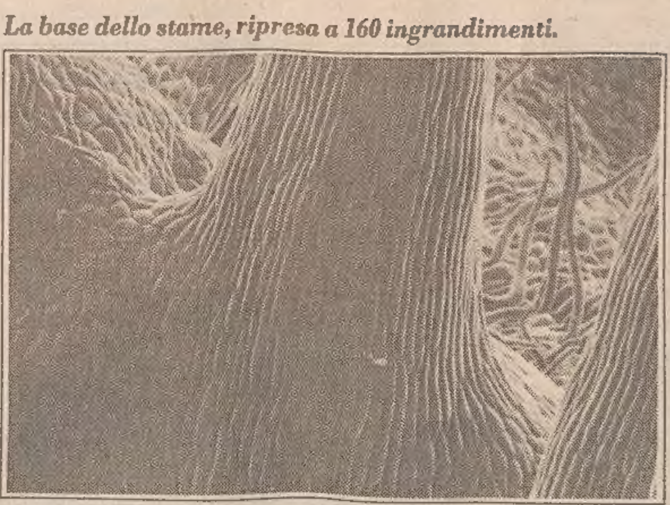
Fiore di ciliegio, ripreso a 10 ingrandimenti.



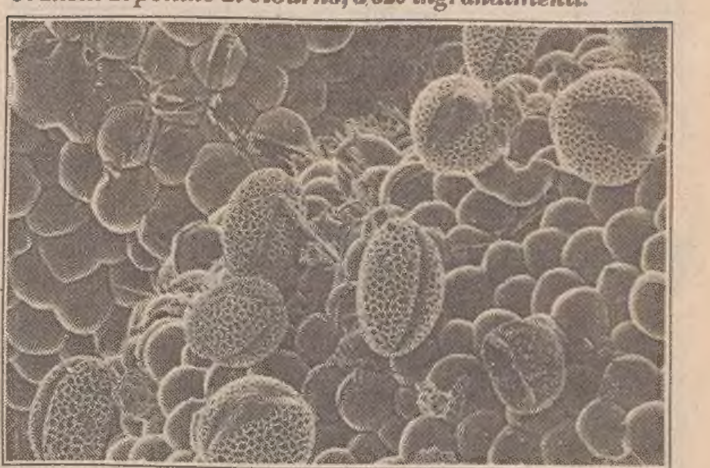
L'antera del fiore di ciliegio, ripresa a 80 ingrandimenti.

La base dello stame, ripresa a 160 ingrandimenti.



L'interno di un fiore di viburno, a 40 ingrandimenti.

Granelli di polline di viburno, a 320 ingrandimenti.



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Ottobre 1990 • N° 1 - Nuova serie - Bimestrale • Società Editoriale Libraria per azioni - Stampato presso OTE, via G. Reni 1 • Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n° 773 del 24/1/90 • Direttore responsabile: Margherita Hack • In redazione: Piero Budinich, Fabio Pagan • Hanno collaborato a questo numero: Ettore Panizon, Paola Rodari, Nicoletta Tamburini • Progetto grafico: Lucio Giordani

editoriale

Partecipare al gioco della scienza

di *Margherita Hack*, Dipartimento di astronomia, Università di Trieste

*Il foglio periodico che avete in mano fa parte della strategia con cui l'*Immaginario Scientifico *ha cercato di accostarsi a chiunque abbia la curiosità di percorrere i sentieri della scienza, utilizzando a questo scopo tutti i possibili mezzi di comunicazione: l'immagine, il computer-libro, il video, la conferenza, la sperimentazione, il "quaderno". Da oggi l'*Immaginario Scientifico, *un'iniziativa nata cinque anni fa come rassegna espositiva delle attività scientifiche di Trieste, può dunque mettere a frutto anche i canali della stampa uscendo come supplemento de "Il Piccolo".*

Per tale ragione L'Immaginario Scientifico Notizie *è diverso dalle pagine e dagli inserti di scienza e tecnologia pubblicati dalla stampa quotidiana nazionale. E' l'espressione di un progetto di divulgazione che ha già riportato notevoli successi. Il suo scopo è quello di illustrare e approfondire gli aspetti meno noti del mondo scientifico e tecnologico, dando la parola a scienziati e ricercatori italiani e stranieri che vivono a Trieste o che a Trieste sono ormai legati attraverso le sue organizzazioni internazionali.*

Questo inserto non vuole inseguire le notizie d'attualità: semmai cercherà di verificarle e di approfondirle, accanto ai grandi temi della scienza contemporanea. Al tempo stesso, L'Immaginario Scientifico Notizie *ha anche l'ambizione di proporre spunti di riflessione e discussione a quanti sono impegnati nel mondo della scuola, insegnanti e studenti. Un periodico, insomma, da leggere con attenzione piuttosto che da sfogliare, che si prefigge l'obiettivo di avvicinare al pubblico la figura del ricercatore, fisico, biologo o matematico che egli sia; di far risaltare il fatto che lo scienziato è una persona come le altre, con i suoi pregi e spesso anche i suoi grossi difetti, e che la scienza non è barbosa (e stavo per dire nemmeno "permalosa", come può sembrare quando la si confonde con le pseudoscienze e le superstizioni), ma che può essere divertente come un giuoco. Anzi che, come tutte le più belle attività umane, può essere anche una grandiosa avventura.*

Tuttavia, oggi, non sono questi gli aspetti o le caratteristiche più importanti. Quel che emerge sempre di più è la consapevolezza dei mezzi e dei fini, è la responsabilità che grava su scienziati e tecnici, nonché il bisogno di una partecipazione sempre più vasta della gente ai tanti problemi che si pongono all'intera società e al destino dello stesso pianeta. Non si tratta soltanto del nostro benessere materiale, ma di problemi e decisioni che incidono profondamente nella nostra concezione filosofica e religiosa della vita, nel nostro comportamento morale. Basti pensare alle fonti energetiche, all'ecologia, alla genetica, all'incremento demografico, alla fame nel mondo...

La conoscenza delle leggi che regolano il mondo e la natura ci ha liberato dalle paure ancestrali dell'ignoto, le applicazioni della scienza ci hanno liberato da sofferenze e fatiche, da malattie e carestie. Però questo è vero solo per una piccola parte della popolazione terrestre, quella dei cosiddetti Paesi industrializzati. Uno dei caratteri distintivi della scienza a Trieste è stato proprio quello di dar modo a studenti e ricercatori dei Paesi in via di sviluppo (tramite il Centro internazionale di fisica teorica e le altre istituzioni che più o meno direttamente ne sono derivate) di accedere a strumenti di ricerca quali una biblioteca ben fornita, computer e ora anche laboratori, di partecipare a congressi e corsi in grado di facilitare la formazione di scienziati e tecnici di alto livello.

*E' continuando questa tradizione di diffondere la scienza che l'*Immaginario *si propone di abbattere quella cosiddetta torre d'avorio che spesso tiene lontana la maggior parte del pubblico da un'attività che dovrà diventare sempre più generalizzata. Alla nostra cultura, prevalentemente umanistica, dovrà affiancarsi fin dai primi anni di scuola una cultura scientifica, indispensabile per favorire la crescita di una nazione che si vanta di essere la quinta (o la sesta) potenza industriale del mondo.*

SPECIALE NOBEL / Tutti i "laureati" di quest'anno

Quella telefonata da Stoccolma...

Quanti sono gli scienziati che attendono ogni anno, a ottobre, la fatidica telefonata da Stoccolma? Certamente alcune decine. Ma gli eletti sono una appena una manciata. Per tutti gli altri l'attesa del Nobel è rimandata all'anno venturo.

I premi di quest'anno non sembrano prestare il fianco a ombre polemiche. Il Nobel per la fisica è andato agli americani Jerome I. Friedman e Henry W. Kendall del Mit e al canadese Richard E. Taylor della Stanford University, California. La motivazione dice che sono stati premiati per una serie di esperimenti effettuati tra il 1967 e l'80 all'acceleratore lineare di Stanford: bombardando con elettroni i protoni e i neutroni che costituiscono il nucleo atomico, si ottennero risultati che suggerivano l'esistenza di una particella ancora più piccola, che costituisce sia i protoni, sia i neutroni: l'ormai famoso quark, già ipotizzato teoricamente da un altro premio Nobel, l'americano Murray Gell-Mann. La prima conferma sperimentale dell'esistenza del quark ha così avuto un giusto riconoscimento, anche se viene a cadere in un periodo critico per la fisica Usa, costretta a rincorrere i risultati delle "grandi macchine" europee.

La chimica ha visto "laureato" un altro americano, Elias James Corey della Harvard University di Cambridge, Massachusetts. Il riconoscimento "in solitario" premia uno scienziato che ha messo a punto nuovi metodi di sintesi organiche e che ha prodotto in laboratorio un centinaio di importanti prodotti naturali: ad esempio, il principio attivo di un estratto della *Ginkgo biloba*, un albero ampiamente utilizzato nella medicina tradizionale cinese.

Per la medicina c'è stata invece qualche sorpresa, dal momento che il premio è andato a lavori di natura clinica. Joseph E. Murray eseguì a Boston il primo trapianto di rene, E. Donnall Thomas aprì invece la strada a Seattle al trapianto di midollo osseo. Due pionieri di un settore che in trent'anni ha raggiunto traguardi impensabili, non soltanto sotto l'aspetto della tecnica chirurgica ma anche sotto quello del controllo biologico del rigetto.

Questi, dunque, gli scienziati che s'incontreranno a Stoccolma il 10 dicembre per la solenne cerimonia di consegna dell'"alloro". Un'ultima considerazione: cinque dei sei Nobel scientifici del '90 sono andati agli americani, rafforzando la posizione-leader degli Stati Uniti nell'ipotetico medagliere. Per la fisica, gli Usa salgono così a 60 Nobel, seguiti da Gran Bretagna con 20 e Germania con 18. Per la chimica, i Nobel americani sono ora 34, rispetto ai 27 tedeschi e ai 21 inglesi. Per la medicina, ancora netto predominio statunitense con 71 riconoscimenti, distanziando inglesi (24), tedeschi (11) e francesi (8).

premi

Come vincere il premio Nobel per la fisica

di *Stig Lundqvist*, Chalmers University di Goeteborg, Centro di fisica teorica di Trieste

Avrei anche potuto iniziare questo articolo con il titolo: "Come si assegna un premio Nobel"; per molti anni sono stato impegnato nei lavori della commissione per l'assegnazione del premio Nobel per la fisica. La discussione che precede l'assegnazione di ciascun premio Nobel rimane segreta per i successivi cinquant'anni. In seguito, l'accesso alla documentazione è consentito agli studiosi di provata serietà. Pure, la lettura degli studi pubblicati fino a oggi sull'argomento offre spesso l'occasione di imbattersi in pagine dai toni quasi scandalistici, non di rado impiegati dall'autore a sostegno di qualche sua bizzarra ipotesi. Ma cominciamo dall'inizio.

Il fondatore

Alfred Nobel (Stoccolma 1833 - Sanremo 1986) era un ricercatore e ingegnere chimico che fece la propria fortuna elaborando tecnologie di fondamentale importanza per l'impiego della nitroglicerina e della dinamite. Il suo giro d'affari si allargò in tutto il mondo, assumendo ben presto le dimensioni di un'impresa che oggi diremmo multinazionale. Ma Nobel non era evidentemente fatto per il jet-set di allora: era una persona profondamente seria, e verso la fine della propria vita divenne sempre più isolato e solo. Decise quindi di impiegare la sua straordinaria fortuna per il bene dell'umanità, e a questo scopo volle istituire una fondazione che avrebbe assegnato ogni anno un degno riconoscimento a imprese umane di grande impegno e valore. La Fondazione Nobel fu così istituita a Parigi nel 1895, a cura dello stesso Alfred Nobel.

Il testamento di Alfred Nobel *"[...] L'intero ammontare dei miei beni solvibili [...] sarà investito dai miei esecutori in titoli sicuri, e costituirà un fondo il cui interesse sarà devoluto annualmente sotto forma di premi a tutti coloro che, durante l'anno precedente, avranno offerto i maggiori benefici al genere umano. Gli interessi di cui sopra saranno suddivisi in cinque parti uguali, da assegnare come segue: una parte alla persona che avrà fatto la scoperta o invenzione più importante nel campo della fisica; una parte alla persona che avrà compiuto la scoperta o il progresso più importante nella chimica; una parte alla persona che avrà conseguito la scoperta più importante nell'ambito della fisiologia o della medicina; una parte alla persona che avrà realizzato l'opera più eccellente di indirizzo idealistico nel campo della letteratura; e una parte alla persona al cui operato si possa ascrivere il miglior contributo per l'affratellamento tra le nazioni, per la riduzioni degli armamenti e per aver organizzato e promosso congressi di pace. [...] E' la mia espressa volontà che nella assegnazione dei premi non si debba tenere alcun conto della nazionalità dei candidati, e che il più meritevole possa comunque ricevere il premio, sia egli scandinavo o meno".*

La prima disciplina scelta da Alfred Nobel fu la fisica, che egli considerava la più importante di tutte le scienze. Si noti inoltre che egli scrisse *"scoperta o invenzione"* riguardo alla fisica, impiegando per la chimica la formula forse più debole di *"scoperta o progresso"*. Le disposizioni del testamento sono molto precise, ed escludono la possibilità di aggiungere altri premi Nobel, come è stato spesso proposto. Oggi esiste comunque un altro riconoscimento, che viene spesso chiamato premio Nobel, ma di fatto non lo è: è il "Premio Commemorativo Alfred Nobel per le scienze economiche" istituito nel 1968 dalla Banca di Svezia. E' facile fare confusione fra quest'ultimo e i veri premi Nobel, dato che esso viene assegnato in base a procedure analoghe a quelle seguite per le altre discipline e conferito dal Re nel corso della stessa cerimonia.

Norme e regolamenti

La volontà di Alfred Nobel venne contestata dai membri della sua famiglia, e ci vollero diversi anni prima che la questione fosse sistemata. Alla fine però le norme e i regolamenti vennero stabiliti dal Re di Svezia dinanzi al Consiglio (era il 1906). Alcuni emendamenti furono apportati nel 1974 e altri ancora in seguito.

Alle norme e ai regolamenti sono sottoposti i seguenti organismi: la Fondazione Nobel con i suoi amministratori fiduciari; il Consiglio dei direttori e i sindaci; le istituzioni che conferiscono i premi (vale a dire: l'Accademia reale svedese delle Scienze, l'Assemblea Nobel presso il Karolinska Istitut, l'Accademia svedese, e il comitato norvegese Nobel); i cinque comitati Nobel e i cinque Istituti Nobel.

I comitati sono *cinque*, uno per ciascun premio, e hanno compiti puramente consultivi rispetto all'istituzione che poi li assegna (fatta eccezione per il comitato del premio per la pace, che è assegnato dal comitato rappresentato dal Parlamento norvegese). Una funzione del tutto particolare avevano in origine gli Istituti Nobel: l'idea di partenza era che gli Istituti Nobel dovevano essere in grado di riscontrare i risultati sperimentali designati per l'assegnazione del premio. Naturalmente tale funzione non ebbe mai una vera importanza (e del resto oggi ciò sarebbe assolutamente irrealizzabile); pure, questi istituti hanno svolto per diversi decenni un ruolo importante nella vita scientifica svedese.

Chi propone il riconoscimento?

La nomina di un candidato al premio Nobel per la fisica spetta ad alcuni gruppi selezionati. Questi sono: i membri dell'Accademia reale svedese delle Scienze; quelli del comitato Nobel per la fisica; gli studiosi già insigniti del premio Nobel per la fisica e la chimica; i professori di fisica delle università e degli istituti di tecnologia di Svezia, Danimarca, Finlandia, Islanda e Norvegia; i professori di almeno *sei* università selezionate dall'Accademia delle Scienze; e infine gli scienziati di rilievo dei quali l'Accademia ritenga opportuno accogliere le proposte.

I gruppi più significativi sono forse gli ultimi due: in particolare, può apparire strana la condizione che siano rappresentate "almeno sei università", ma si deve ricordare che al volgare del secolo scorso il mondo scientifico era ancora molto piccolo: nel 1900 i professori di fisica erano tutt'al più una decina in tutto il mondo! Oggi il numero di università richiesto è almeno dell'ordine di un centinaio. L'ultimo gruppo comprende persone la cui opinione è considerata degna di attenzione: possono essere dirigenti di importanti laboratori, direttori di riviste internazionali e altri fisici conosciuti.

Gli inviti a suggerire una candidatura sono inviati nel settembre dell'anno precedente a quello di assegnazione, e le proposte devono pervenire entro il 31 gennaio. Le proposte sono valide solo per quell'anno particolare, fatto questo che non è generalmente noto. Un particolare di trascurabile importanza: chiunque proponga *se stesso* per il premio Nobel viene automaticamente escluso dalla selezione.

Scaduto che sia il termine per la consegna delle candidature, ha immediatamente inizio il lavoro di selezione. L'Accademia chiede a un certo numero di esperti di livello internazionale di inviare un resoconto confidenziale su uno o più candidati. In complesso, la questione di maggiore importanza è il problema delle priorità: non basta essere stato coautore di un articolo eccellente: il comitato deve essere certo che ogni persona abbia contribuito alla scoperta o all'invenzione che sarà premiata con un apporto cruciale e chiaramente identificabile. Spesso una scoperta è stata preceduta da un importante lavoro di ricerca, fondato su uno o più apporti pionieristici di autori precedenti. In questi casi il comitato Nobel deve stabilire quale sia stato il percorso della scoperta fino al risultato finale: spesso si giunge così a un vero e proprio "giallo" scientifico, in cui occorre trovare una risposta al classico "chi è stato?" prima di poter assegnare il premio.

La maggior mole di lavoro viene sbrigata dal comitato Nobel in primavera e nei primi mesi estivi. La conclusione giunge in agosto, ed è coronata dalla redazione di un lungo rapporto sul lavoro dell'anno in corso (da sottoporre all'Accademia), contenente i nomi dei candidati proposti. A settembre il comitato e i fisici dell'Accademia (la sezione di fisica) si riuniscono due volte, per approvare o modificare le proposte del comitato Nobel. La decisione finale viene presa dai membri dell'Accademia al completo nel corso della votazione che si svolge a metà ottobre. Il nome del premio Nobel designato è reso pubblico immediatamente dopo la votazione.

La procedura di assegnazione del premio si svolge dunque in tre fasi, che coinvolgono: 1) il comitato Nobel ristretto (composto da cinque membri più un segretario), che fa da "cavallo da tiro"; 2) la sezione di fisica dell'Accademia, che è costituita da molti membri e può agevolmente prevalere sul comitato; 3) l'Accademia delle Scienze di Stoccolma al completo, composta di circa 200 membri, ai quali spetta di mettere ai voti la designazione finale.

La sezione di fisica è composta in gran parte da professori anziani ed è nel complesso orientata in senso molto conservatore. Le opinioni possono essere discordi, e talvolta il comitato deve compiere veri equilibrismi per far sì che le proprie proposte possano giungere fino alla votazione finale dell'Accademia.

Il premio viene consegnato personalmente nel corso della cerimonia dallo stesso Re di Svezia, il quale inoltre offre una cena al castello reale in onore dei premi Nobel, che vi partecipano assieme a un gruppo di invitati d'eccezione. La cerimonia della consegna dei Nobel e il banchetto che le fa seguito sono avvenimenti sociali del massimo rilievo in Svezia, e le personalità più stimate del Paese fanno a gara per parteciparvi. Il complesso di celebrazioni si svolge, tra cene, pranzi, ricevimenti, nel corso di circa un'intera settimana, e finisce col pesare notevolmente sul fisico e sul sonno dei futuri premi Nobel. La cerimonia, che dura 90 minuti, viene ripresa dalla televisione ed è trasmessa dalle reti televisive di numerose nazioni.

Una storia fatta di scoperte

Spesso i fisici rimangono stupiti riguardo all'assegnazione di alcuni premi Nobel, e ancor più li stupisce che molti fisici di spicco non abbiano mai ricevuto un premio Nobel. Ma questo premio non viene conferito al miglior fisico, bensì a una specifica scoperta o invenzione. Né va dimenticato che la peggior cosa che potrebbe accadere sarebbe quella di conferire il premio a una "non-scoperta". E' precisamente quanto è accaduto per il premio Nobel per la medicina, negli anni Venti, assegnato per la scoperta di un presunto batterio cancerogeno, la *Spiroptera carcinoma*, che nessuno ha mai visto, né prima né dopo il premio. Non c'è posto dunque per speculazioni e teorie sofisticate, se non trovano un supporto sperimentale nei fatti.

Una panoramica, sia pur breve, di tutti i premi conferiti dopo la guerra offrirebbe l'occasione di trattare la storia della fisica moderna in compendio. Molte delle nuove scoperte hanno approfondito la nostra comprensione della natura. L'unificazione delle teorie fisiche è sempre stata una questione di importanza fondamentale, che poco a poco si sta risolvendo: un esempio è rappresentato dall'unificazione dell'elettricità con il magnetismo nell'elettromagnetismo, a cui si è giunti più di un secolo fa. Nel 1979 Abdus Salam, direttore del Centro internazionale di fisica teorica di Trieste, è stato insignito assieme a due colleghi americani, Sheldon Glashow e Steven Weinberg, del premio Nobel per l'unificazione delle interazioni deboli e di quelle elettromagnetiche. A quell'epoca l'appoggio sperimentale della teoria era ancora debole; ma vi erano forti argomenti a favore dell'assegnazione del premio. Ci sono voluti ancora alcuni anni prima che si potessero riscontrare alcune dettagliate predizioni della teoria, fornite da uno splendido esperimento di Carlo Rubbia, che nel 1984 ha ottenuto il premio Nobel assieme a Simon van der Meer.

Nuove frontiere della scienza

La serie dei premi Nobel di questi anni dimostra che la fisica è una scienza oltremodo viva, continuamente in espansione verso nuove frontiere: queste frontiere si estendono su tutte le scale del tempo, dello spazio e dell'energia: la loro esplorazione richiede la creazione di nuovi importanti concetti e modelli teorici.

Il premio Nobel è il riconoscimento scientifico più prestigioso, e da questo punto di vista ha due facce. Da un lato i ricercatori premiati vengono a essere improvvisamente dei personaggi pubblici, e si trovano coinvolti in ogni sorta di nuove situazioni: la loro vita non sarà mai più la stessa. L'elemento suggestivo insito in questa loro nuova immagine pubblica è troppo potente, tanto che spesso si tende a dimenticare che esiste ancora un gran numero di ricercatori che hanno fornito contributi ugualmente importanti, ma che per una ragione o per l'altra non riceveranno mai il premio. Questo è in effetti il rovescio della medaglia del premio Nobel. Si è inoltre spesso portati a trascurare che vi sono altri riconoscimenti internazionali dello stesso altissimo livello scientifico: il premio Wolf, il premio Kyoto, e così via. Per molti fisici il premio Nobel è divenuto così sinonimo di un sogno: essere invitati a Stoccolma in dicembre, per ricevere quello che è considerato il massimo riconoscimento per la fisica.

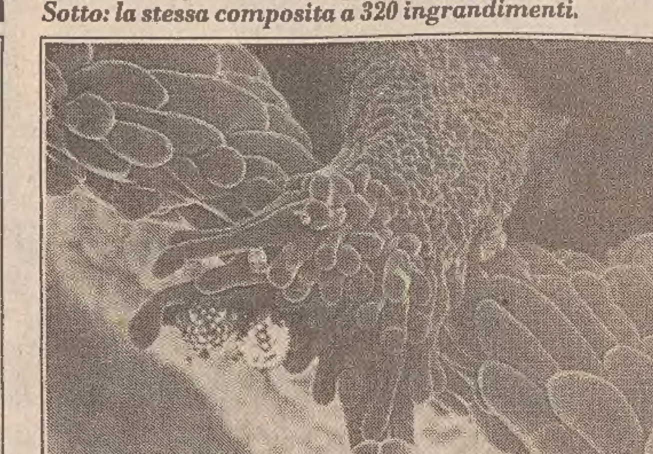
Foto di famiglia per premi Nobel a Trieste. L'autore dell'articolo pubblicato in questa pagina è seduto (in maniche di camicia) tra Abdus Salam e Paolo Budinich sulla terrazza dell'"Adriatico", a Grignano, in occasione del simposio di tre giorni che lo scorso agosto radunò al Centro di fisica teorica un gruppetto di premi Nobel per festeggiare i suoi 65 anni. A sinistra, John R. Schrieffer e Philip W. Anderson; all'estrema destra, in piedi, Heinrich Rohrer. Svedese, professore emerito alla Chalmers University di Goeteborg, Lundqvist conosce per diretta esperienza meccanismi e retroscena dell'assegnazione dei premi Nobel scientifici, in particolare di quelli per la fisica, come racconta in questo articolo scritto espressamente per L'Immaginario Scientifico Notizie*: ha fatto parte infatti della commissione Nobel dal 1972 al 1985, anno in cui fu nominato presidente della sezione di fisica dell'Accademia delle Scienze svedese e divenne presidente del consiglio scientifico del Centro di fisica teorica di Miramare, con cui ha avuto stretti rapporti fin dalla fondazione. Attualmente Lundqvist è responsabile delle attività di fisica dello stato solido del Centro.* (Foto Scrobogna)

nuovi occhiali per la scienza

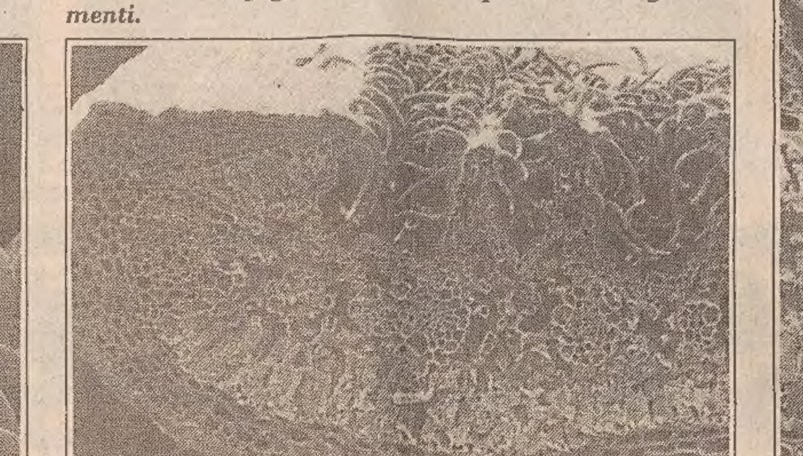
1 / il microscopio elettronico

Le microfotografie da microscopio elettronico a scansione hanno aperto nuovi orizzonti all'immaginario scientifico collettivo. La rappresentazione nitidissima e tridimensionale di oggetti migliaia di volte più piccoli di quelli che siamo abituati a maneggiare ci permette di immaginare un'infinità di micropaesaggi dentro e fuori di noi. Ma come si realizzano queste microfotografie? Su quali principi si fonda questa tecnica? E quali sono le principali differenze rispetto alla microscopia ottica?
La *luce visibile* è costituita da fasci di onde elettromagnetiche di una certa lunghezza d'onda, da 400 a 700 nanometri (cioè milionesimi di millimetro). Questa luce non può permettere quindi di distinguere dettagli più piccoli di un millesimo di millimetro. Questo fatto — in base allo stesso principio per cui con un pennello grosso non si può eseguire una miniatura — costituisce il principale limite della po-

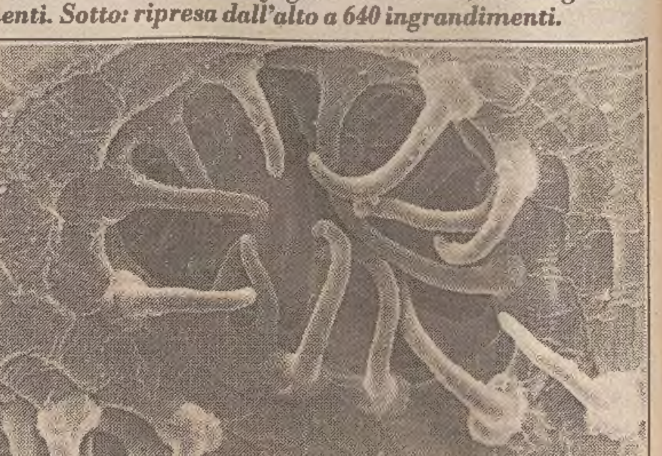
A sinistra: infiorescenza ripresa a 80 ingrandimenti. Sotto: la stessa composita a 320 ingrandimenti.



Sezione di una foglia di oleandro ripresa a 160 ingrandimenti.



A sinistra: sezione di una foglia di oleandro, a 320 ingrandimenti. Sotto: ripresa dall'alto a 640 ingrandimenti.



dal laboratorio dell'immaginario scientifico

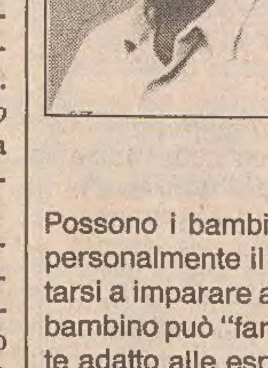
Novità dell'Immaginario Scientifico

LA BIBLIOTECA PER RAGAZZI • Il *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* vuole produrre un nuovo tipo di museo. Non più una immobile collezione di oggetti, ma una struttura di servizi che cresce con il tempo.
La più importante novità di quest'anno è la *Biblioteca per ragazzi*, una biblioteca dedicata ai lettori dai 6 ai 16 anni, che oltre a una decina di prestigiose riviste italiane e straniere, raccoglie tutte le pubblicazioni di divulgazione scientifica rivolte a un pubblico di giovane età.
La *Biblioteca per ragazzi* è stata donata al *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* da Mila Schoen, la nota creatrice di moda che vive a Milano, ma che ha trascorso a Trieste l'infanzia e la giovinezza.
La *Biblioteca* collabora con gli insegnanti delle elementari e delle medie. L'insegnante, assieme al personale della biblioteca, può preparare una specie di "caccia al tesoro" su un tema a scelta: l'obiettivo non è solo raccogliere e organizzare informazioni, ma imparare in modo divertente a muoversi nei libri e tra i libri. Sullo stesso tema è poi possibile organizzare incontri con esperti, sempre in biblioteca ma servendosi anche di proiezioni video e audiovisive.
La *Biblioteca* sarà aperta solo su prenotazione per classi o gruppi di utenti (minimo cinque).
NUOVA DIDATTICA DELLE SCIENZE • L'*Immaginario Scientifico* si rivolge soprattutto alle scuole. Oltre alla Biblioteca e alle visite alla mostra (guidate e, per chi desidera, anche preparate in classe — basta prenotare), il Laboratorio è impegnato nella progettazione e sperimentazione della didattica scientifica.
Nell'ambito di un progetto nazionale del Cnr (una ricerca sulla comunicazione scientifica multimediale è stata affidata all'*Immaginario*), il Laboratorio ha organizzato due gruppi di studio a cui partecipano insegnanti delle elementari, delle medie inferiori, delle superiori e dell'Università: il primo sull'introduzione della fisica nella scuola elementare, il secondo per l'insegnamento delle scienze nella scuola media, inferiore e superiore.
Il primo gruppo di studio, che ha il supporto dell'Università nella persona del professor Marcello Giorgi e a cui partecipa attivamente il professor Rossano Giannini, ha ideato un percorso didattico sui concetti fondamentali di *spazio, tempo, velocità* e *massa*, che dovrebbe essere ultimato e sperimentato nel corso del presente anno scolastico. I risultati di questo gruppo di studio serviranno anche da guida al Laboratorio per progettare una sezione sperimentale per bambini.
Il gruppo di insegnanti delle scuole medie, assieme a professori e ricercatori universitari, sta mettendo a punto un percorso didattico sull'osservazione della natura dalla scala microscopica a quella antropica e astronomica.
Anche da questo programma dovrebbe nascere una nuova sezione del futuro museo, con strumenti veri messi a disposizione dei ragazzi.
LE CONFERENZE • Dal 9 novembre al 7 dicembre si succederanno presso il *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* sei incontri sotto il titolo *Il laser: fisica e tecnologia della luce coerente*. Nel corso delle conferenze, organizzate da Gallieno Denardo del Centro di fisica teorica di Miramare, cinque esperti italiani di alto livello (T. Arecchi di Firenze, O. Svelto di Milano, E. Arimondo di Pisa, A. Sona di Milano, e R. Pratesi di Firenze) presenteranno in forma colloquiale le basi teoriche e le molteplici applicazioni pratiche di questo nuovo tipo di luce. Inaugurerà la serie, il 9 novembre, una conferenza del professor Denardo, che spiegherà i principi di funzionamento del laser e allestirà alcuni esperimenti dimostrativi; in quella sede sarà possibilmente presentato in anteprima il primo *Quaderno* della serie sul laser, curato da Gallieno Denardo. Anche le successive conferenze verranno rielaborate per essere pubblicate nella collana dei *Quaderni del Laboratorio*.
ITINERARI DELLA MOSTRA • Il ministero degli Esteri ha incluso l'*Immaginario Scientifico* nei suoi programmi di collaborazione culturale. In particolare la mostra dell'*Immaginario Scientifico* dovrebbe andare a Lisbona e a Budapest. Queste iniziative dovrebbero facilitare l'itineranza di parte della mostra e delle attività didattiche nella regione.
VERSO IL MUSEO DELLA SCIENZA • Oltre all'apertura di una prima sezione del museo interattivo per ragazzi, è in programma la realizzazione di una sezione sulla percezione, premessa essenziale per lo studio di come noi impariamo a guardare e a conoscere la natura. Nel frattempo, con l'aiuto del professor Antonio Brambati, si sta discutendo a Roma l'idea di portare al *Laboratorio* un museo sull'Antartide.
SCIENZA E PARANORMALE • Sabato 1.o dicembre nel Centro congressi dell'Ente Fiera di Trieste, esponenti del mondo scientifico e culturale, prestigiatori e esperti di parapsicologia dibatteranno su *Scienza e paranormale a confronto*, un incontro promosso dal *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico* e dal Comitato italiano per il controllo delle affermazioni sul paranormale (*CICAP*). A conclusione si svolgerà una tavola rotonda con la partecipazione di P. Angela, A. Borsellino, G. Celli, S. Ferluga, M. Inardi, R. Luccio, M. Polidoro, P. A. Rossi.

Per ulteriori informazioni e per le prenotazioni rivolgersi alla Segreteria del Laboratorio, presso il Palazzo Congressi della Fiera, piazzale De Gasperi, 1 - 34139 Trieste; tel. 040/390785.

didattica della scienza

I bambini e la ricerca scientifica



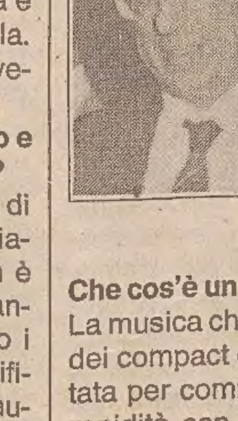
intervista a *Francesco de Bartolomeis*, esperto di pedagogia, docente a Pisa, Firenze e Torino

Possono i bambini sperimentare concretamente e personalmente il metodo scientifico, o devono limitarsi a imparare alcuni risultati? Fino a che punto un bambino può "fare ricerca"? La scuola è un ambiente adatto alle esperienze scientifiche? Ne parliamo con Francesco De Bartolomeis, docente di pedagogia nelle Università di Pisa, Firenze e Torino, e anche studioso di problemi d'arte. A Torino ha fondato un "sistema di laboratori" per mettere a punto, sperimentalmente, nelle scuole, un metodo di "apprendimento produttivo" che poi ha esteso anche al campo dell'arte ("valutazione produttiva"). Inoltre ha diretto a Torino la Scuola di specializzazione in psicologia, pedagogia e psicopedagogia e la Scuola di perfezionamento in Scienze dell'educazione. Numerose le sue opere. Ne ricordiamo alcune: *La pedagogia come scienza* (1953), *La ricerca come antipedagogia* (1969), *Il sistema dei laboratori* (1978), *Produrre a scuola* (1983), *Scuola e territorio* (1983), *Lavorare per progetti* (1989). E nel campo dell'arte, oltre a monografie su artisti contemporanei, le recenti opere *L'esperienza dell'arte* (1989) e *Girare intorno all'arte* (1990).

Un tempo lo scopo della didattica scientifica era l'acquisizione di una serie di nozioni che rappresentavano un riassunto semplificato del sapere dell'epoca. Oggi invece si dice che i bambini devono imparare non nozioni ma un metodo, il metodo scientifico. Questo vuol dire che anche i bambini sono in grado di sperimentare la ricerca scientifica?
Sì, io ritengo, ed è convinzione che va diffondendosi, che i bambini possano e debbano fare ricerca a scuola. Questo è il solo modo efficace per iniziarsi realmente al pensiero scientifico. Quale la ragione? Fare ricerca non è altro che adottare procedimenti di "problem solving"(apprendimento per soluzione di problemi). E' da sottolineare che il "problem solving", prima di essere una particolare metodologia didattica, è un modo strutturale, naturale di comportarsi della mente di tutti, anche dei bambini piccoli. Spetta alla scuola trarre profitto da questa risorsa e fornirle le condizioni e gli strumenti per svilupparla. Una scuola che lasci fuori la ricerca sacrifica gravemente le potenzialità della mente.
Ma la ricerca scientifica non è qualcosa di diverso e di più del risolvere problemi nella vita quotidiana?
Certo, esistono differenze, ma sempre all'interno di comportamenti di ricerca. La mente dello scienziato, per quanto riguarda strutture e funzioni, non è diversa dalla mente dell'uomo comune e quindi anche del bambino. Anche gli scienziati ottengono i loro risultati procedendo in modo irregolare, ramificato e imprevedibile. Proprio come la gente comune.
E' significativo quanto scrive Henri Poincaré, uno dei più grandi matematici di tutti i tempi. In *Scienza e metodo* (1908) sottolinea l'importanza dell'inconscio e dei percorsi irregolari anche nel lavoro dello scienziato:
"Ogni giorno mi sedevo al tavolo da lavoro, e vi passavo una o due ore, provavo un gran numero di combinazioni e non arrivavo ad alcun risultato. Una sera, contrariamente alle mie abitudini, presi un caffè nero, e non riuscivo ad addormentarmi: le idee sorgevano in folla; le sentivo come se si urtassero, fino a quando due di esse si agganciarono, per così dire, e formarono una combinazione stabile. Il mattino, io avevo stabilito l'esistenza di una classe di funzioni fuchsiane; non avevo altro da fare che redigere i risultati, cosa che mi prese sólo qualche ora. Si potrebbe dire che il lavoro cosciente è stato più fruttuoso perché è stato interrotto e che il riposo è stato riempito da un lavoro incosciente".
Forse non tutti immaginano così il lavoro dello scienziato, attribuendogli sistematicità e razionalità come fattori decisivi: invece sono soltanto degli ingredienti che nulla potrebbero produrre se non intervenissero l'inconscio, l'intuizione e perfino il caso.
E' possibile che i bambini facciano ricerca nel senso di scoprire qualcosa di realmente nuovo?
Bisogna intendersi sul "nuovo". Certamente i bambini possono arrivare a scuola e scoprire e a capire, con la ricerca, qualcosa che per loro è nuovo, anche se restano lontani dalle frontiere del sapere. Questo non toglie che le loro ricerche siano vere e necessarie. Ricercano con i loro tempi e le loro forze e, cosa molto più importante, usando strumenti non artificiosamente didattici ma il più possibile professionali. In una sperimentazione che io coordino per il Comune di Riccione questo principio viene osservato con successo.
La scuola di oggi è attrezzata per queste innovazioni?
In generale la scuola ha un'organizzazione avversa alla ricerca, ma non mancano le eccezioni positive. Com'è possibile che la divisione in ore della giornata scolastica sia compatibile con la ricerca? I tempi di svolgimento della ricerca non possono essere fissati in anticipo! Non si può interrompere, per esigenze di orario, un'attività di pensiero proprio quando comincia a dare dei frutti. La ricerca chiede molta libertà non meno per gli studenti che per gli insegnanti. Inoltre, per dare sviluppo alla ricerca nel campo scientifico e negli altri campi, occorre la consulenza di esperti esterni.
Cosa pensa delle sezioni didattiche interattive di alcuni musei della scienza, come a esempio l'*Exploratorium* di San Francisco o l'*Inventorium* della Cité des Sciences et de l'Industrie di Parigi? Rappresentano un buon esempio di didattica della scienza da utilizzare per la scuola?
L'utilità dell'attività didattica di questi musei è innegabile. Ma ha molti limiti. Nelle *discovery rooms* metodi interattivi a dominanza lineare (quindi lontani da quelli che possono fare entrare in esperienze di ricerca, che sono strutturalmente irregolari e ramificate) tendono a prevalere sui metodi interattivi produttivi che definiscono l'effettiva realtà della ricerca. Ma sono sicuro che gli aspetti positivi si rafforzeranno.
Ci sono segni di rinnovamento anche nella scuola?
Ciò che dà concretezza alla mia insistenza sulla ricerca è il fatto che un modo nuovo di affrontare i problemi di insegnamento/apprendimento va guadagnando posizioni in non poche realtà scolastiche. Si è rivelato prezioso l'aiuto di enti locali, esperti, associazioni, nella convinzione che il rinnovamento della scuola non ha una limitata portata didattica ma è una operazione sociale di capitale importanza.
L'innovazione, sia pure in aree limitate e contrastate, già esiste: va conosciuta, rafforzata, estesa. Ho accennato all'esperienza che da sette anni, come coordinatore scientifico, seguo per il Comune di Riccione. E' una prova del fatto che innovazioni non superficiali *sono possibili*.

per scoprire il laser

Laser: tecnologia della luce



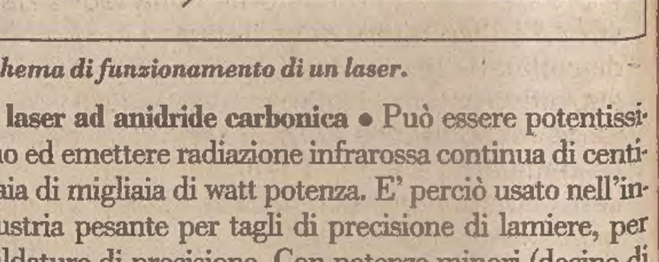
di *Gallieno Denardo*, Centro di fisica teorica di Trieste

Che cos'è un laser?
La musica che ascoltiamo nella straordinaria fedeltà dei compact disc, la stessa tecnica tipografica adottata per comporre le colonne di questo giornale, la rapidità con cui riusciamo a pagare la spesa nei grandi supermercati, sono piccoli eventi quotidiani nei quali riscontriamo come la tecnologia del laser sia entrata nella vita di ogni giorno (non è poi un caso che tutti questi eventi vedano in una maniera o nell'altra entrare in gioco un altro elemento tecnologico sempre più diffuso: il computer). I laser sono infatti componenti fondamentali dei più svariati sistemi, come i lettori di compact disc, i lettori di codici a barra usati nei supermercati, le stampanti laser per computer, i bisturi per la microchirurgia, i sistemi di puntamento per usi civili e militari, la telemetria. L'elenco potrebbe continuare a lungo.
Il laser è un dispositivo che permette di produrre un raggio elettromagnetico estremamente puro, ben collimato e coerente; un simile raggio consente impieghi nei quali è possibile fare affidamento su una precisione e una potenza straordinarie e relativamente a buon mercato.
Il nome LASER (acronimo di *light amplification by stimulated emission of radiation*, ossia "amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione") indica una vasta famiglia di sorgenti di radiazione elettromagnetica che presentano caratteristiche molto peculiari.
Che cosa contraddistingue un raggio laser rispetto a un raggio di luce solare?
Un raggio laser è monocromatico. Il "colore" di un raggio laser corrisponde infatti a una sola banda di luce: la sua frequenza è ben definita. A seconda del tipo di laser, si può ottenere emissione di radiazione coerente in un intervallo di frequenze che va dalle micro-onde (lunghezza d'onda attorno al millimetro) ai raggi X molli (attorno al milionesimo di metro di lunghezza d'onda)
E' molto brillante. La potenza irradiata da un fascio laser può andare dal milliwatt alle migliaia di miliardi di watt in tempi brevissimi: la luce di un laser può cioè essere molto intensa e può essere molto più brillante del Sole, la cui superficie emette fino a un milione di watt per centimetro quadrato.
E' coerente. Il fascio è composto da fotoni tutti in fase, che perciò si sommano positivamente. E' questa la ragione principale della sua potenza.
E' fortemente direzionato. Infatti diverge pochissimo: esistono fasci laser che vengono inviati sulla Luna e ritornano sulla Terra per riflessione, senza essere "distrutti" dalla diffusione. Il fascio laser si presenta cioè come uno stretto pennello luminoso che si mantiene quasi parallelo senza espandersi apprezzabilmente anche su lunghe distanze.
Pur nella grande varietà di tipi, tutti i laser funzionano in base al principio dell'emissione stimolata di fotoni da atomi eccitati.
Come funziona un laser?
Come abbiamo visto, un raggio laser è in effetti un raggio di luce (seppure molto particolare). Ma la luce è costituita da *fotoni*, ovvero da onde elettromagnetiche. I fotoni del raggio laser vengono emessi da atomi *eccitati*.
Per capire come funziona un laser dovremo fare una breve digressione e parlare di atomi ed elettroni. Un atomo può essere descritto come un sistema neutro formato da un nucleo di protoni e neutroni, circondato da una nuvoletta di elettroni. Gli elettroni si muovono lungo orbite a cui è assegnata un'energia. Se tutti gli elettroni sono su orbite di energia maggiore, si dice che l'atomo si trova in uno stato eccitato.
Un atomo non rimane a lungo in uno stato eccitato. In tempi che vanno dal millesimo al miliardesimo di secondo, esso ritorna spontaneamente allo stato fondamentale emettendo un fotone di energia uguale a quella che aveva assorbito nell'eccitazione. Quest'energia è emessa in forma di radiazione elettromagnetica, ed è portata appunto dai fotoni, che sono i "quanti" (cioè le unità elementari) del campo elettromagnetico.
Ogni fotone può essere rappresentato come un'onda (con i suoi valori di frequenza, ampiezza e fase). Il sovrapporsi di più onde fotoniche della stessa frequenza emesse da una sorgente luminosa monocromatica (cioè di colore ben definito, come ad esempio quella di una lampada al sodio) determina l'intensità del segnale: essa è relativamente debole se le onde componenti non sono in fase, mentre è elevatissima se le componenti sono emesse coerentemente, cioè con la stessa fase.
La luce del laser
Nel 1917 Albert Einstein mostrò che se un fotone colpisce l'atomo eccitato (e se questo fotone è fornito di energia uguale alla differenza di energia della transizione di "eccitazione"), il fotone incidente può continuare a propagarsi mentre l'atomo colpito viene stimolato a una transizione di ritorno allo stato di energia minima, dando luogo all'*emissione stimolata* di un altro fotone. Questo secondo fotone sarà in tutto uguale al fotone incidente; stessa energia ovvero frequenza, stessa direzione e fase. I fotoni si sommeranno dunque esattamente.
Supponiamo ora di generare l'eccitazione di una grande percentuale (60-70%) degli atomi di un materiale, comunicando loro una qualche forma di energia (con una scarica elettrica, con una forte illuminazione o per mezzo di processi chimici). In una situazione di questo tipo i fotoni irradiati nella diseccitazione spontanea sono abbastanza numerosi da rendere probabile l'interazione dei fotoni con un atomo nello stesso stato eccitato. Questa condizione è detta di *inversione di popolazione*, ed è necessaria perché abbia luogo l' *emissione stimolata*.
In tal modo, se nel sistema viene immessa una certa quantità di energia che mantenga l'inversione di popolazione, si assisterà al prodursi di un effetto "a cascata", in cui a partire da un iniziale fotone (che si propaga lungo l'asse del laser) si otterranno, per ogni atomo eccitato colpito, due fotoni forniti delle stesse caratteristiche per fase, direzione ed energia, i quali a loro volta andranno a colpire i due atomi eccitati, e così via, in un crescendo *esponenziale*.
I fotoni prodotti per emissione stimolata potranno sommarsi tutti: in tal modo l'intensità del segnale verrà amplificata grazie all'autoorganizzazione spontanea del sistema.
Il materiale in cui ha luogo l'emissione stimolata di fotoni, detto mezzo attivo, è posto tra due specchi, cosicché, riflessi dai due specchi, i fotoni si muoveranno avanti e indietro nel mezzo attivo del laser e stimoleranno gli altri atomi o molecole eccitati a emettere fotoni con la stessa frequenza e fase. Dato che solo i fotoni che seguono un percorso perpendicolare agli specchi rimangono nella cavità abbastanza a lungo da provocare l'amplificazione, la luce assumerà la forma di un fascio ben collimato.
Da uno degli specchi, reso parzialmente trasparente, una parte del fascio potrà lasciare la cavità: ecco come si ottiene il raggio laser.
Il raggio laser può essere continuo o a impulsi. Gli impulsi possono avere una durata dai millesecondi ai femtosecondi (milionesimi di miliardesimi di secondo). La potenza emessa in questi brevissimi impulsi può essere anche di milioni di watt. Le dimensioni di un laser sono molto variabili: gli apparecchi più piccoli non sono più grandi di un granello di sabbia; ma particolari tipi di laser possono arrivare a occupare un intero edificio.

per scoprire il laser

Il bestiario dei laser

Esiste un'enorme varietà di tipi di laser, e sarebbe complicato descriverli tutti. Nel "bestiario" dei laser ve ne sono comunque alcuni che sono rappresentativi di intere classi.
Il maser • Il precursore del laser è il maser, che fu il primo dispositivo a essere costruito in base al principio descritto nel paragrafo precedente. Esso agisce nel campo delle microonde: di qui il nome di maser (*microwave amplification by stimulated electromagnetic radiation*, ossia "amplificazione di microonde mediante radiazione elettromagnetica stimolata"). Fu inventato nel 1954 e grazie a questa scoperta Townes, Basov e Prokhorov ebbero il premio Nobel per la fisica. Dopo l'invenzione del maser, gli sforzi per ottenere l'amplificazione di radiazioni elettromagnetiche di minore lunghezza d'onda si moltiplicarono finché nel 1960 T. Maiman realizzò l'emissione stimolata di luce in cristalli di rubino. Era l'invenzione del laser.
Il laser a elio-neon • E' uno dei laser più diffusi. Fu inventato nel 1960 da Ali Javan, un eminente scienziato di origine iraniana che lavora al Mit (Massachusetts Institute of Technology) di Boston, negli Stati Uniti. Questo laser emette radiazione continua infrarossa o rossa, non è potente, è poco costoso e ha un uso vastissimo, dai lettori di codici a barra ai sistemi di telemetria, all'olografia, ai lettori di compact disc.



Schema di funzionamento di un laser.

Il laser ad anidride carbonica • Può essere potentissimo ed emettere radiazione infrarossa continua di centinaia di migliaia di watt potenza. E' perciò usato nell'industria pesante per tagli di precisione di lamiere, per saldature di precisione. Con potenze minori (decine di watt) è usato in medicina per operazioni chirurgiche e per diagnostica.
Il laser a neodimio • Un tipo importante di laser, anch'esso potente, usa il neodimio come materiale attivo; emette nell'infrarosso con potenze che possono essere molto elevate ed è usato nell'industria per l'elaborazione dei materiali, come radar ottico, in tecniche chirurgiche...
Il laser argon • Emette un bellissimo raggio verde brillante ed è usato per provocare la fotocoagulazione retinica in olografia, per effetti luminosi spettacolari, nelle stampanti laser...
Il laser a semiconduttore • Una classe di laser in veloce evoluzione è quella dei laser a semiconduttore. In questi laser l'inversione di popolazione ha luogo tra elettroni in bande di energie diverse, ma non sono localizzati nei singoli atomi, bensì appartengono all'intero cristallo. Il componente più diffuso dei laser a semiconduttore è l'arseniuro di gallio (GaAs) e l'emissione è nell'infrarosso a potenze molto piccole. Il raggio di questi laser ha la caratteristica di subire la minima attenuazione nel propagarsi nelle fibre ottiche. Perciò il laser a semiconduttore o diodo laser è strumento importante nei moderni sistemi di comunicazione su fibre ottiche.

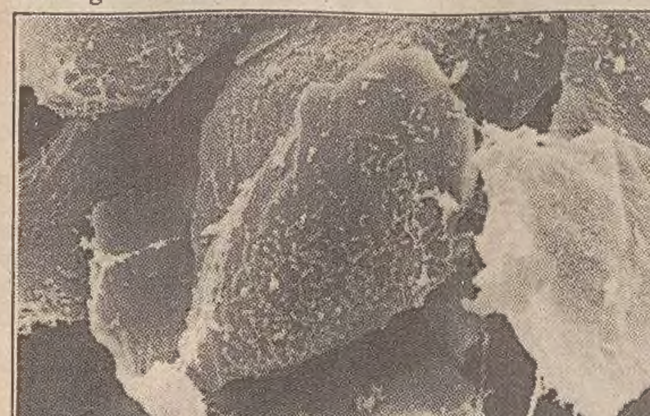
per scoprire il laser

Un laboratorio a Miramare

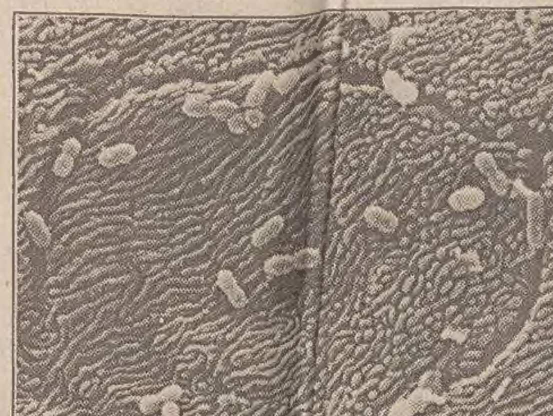
E' l'esperienza più eloquente: un raggio continuo emesso nell'infrarosso da un laser al neodimio con una potenza di circa 30 watt, è capace di bucare un mattone parte per parte. Lo strumento è in dotazione al Laboratorio di laser e fibre ottiche che (sotto la responsabilità di Gallieno Denardo) ha aperto i battenti all'inizio dell'anno nella nuova ala del Centro di fisica teorica quale "polo" del nascente Centro internazionale per l'alta tecnologia e i nuovi materiali. L'iniziativa rappresenta il versante sperimentale di un'attività a livello teorico che il Centro di Miramare persegue fin dal 1973 nel campo della fisica atomica e molecolare dei laser. Oltre al laser a neodimio, il laboratorio dispone di laser ad azoto e ad anidride carbonica che consentono un'attività di addestramento a favore soprattutto dei Paesi in via di sviluppo. Le esperienze sono dedicate in special modo alle tecniche di rivelazione spettroscopica: esistono infatti metodi molto raffinati che - grazie al laser - permettono di verificare la presenza in un gas di quantità piccolissime di sostanze. Il nuovo laboratorio di Miramare si occupa inoltre di ricerche sulla fisica e la tecnologia delle comunicazioni mediante fibre ottiche.

tenza dei microscopi che utilizzano luce visibile: essi possono infatti giungere a un massimo di circa 500 ingrandimenti (le immagini che si ottengono con questi microscopi possono venire ulteriormente ingrandite, senza però migliorare la nitidezza dei dettagli, ma solo per comodità di osservazione). Inoltre il microscopio ottico ha una lissima profondità di campo, e, oltre un certo n di ingrandimenti, l'oggetto da visionare deve re rigorosamente piatto.
Gli *elettroni* hanno invece lunghezza d'onda molto più corta di quella dee visibile, e possono risolvere dettagli centinaia di volte più piccoli. Con il microscopio elettronico a s cansione, il fascio di elettroni scorre avanti e indietro "spazzolando" in modo regolare la superficie del campione (questo è il significato della parola *scansione*), producendo fasci di elettroni secondari dai quali si può ricostruire una mappa tridimensionale dell'oggetto, osservabile su uno schermo televisivo. Rendendo più sottile il fascio, si affina anche la grana dei dettagli.
Gli elettroni però, a differenza della luce visibile, non rendono la forma e il colore degli oggetti nel modo in cui siamo abituati a vederli. Inoltre, interagendo liberamente con gli elettroni degli atomi della superficie di questi oggetti, produrrebbero immagini molto distorte. Per avere un'immagine che renda (pur sempre in bianco e nero) l'oggetto abituale, occorre quindi ricoprire il campione con una sottile patina d'oro o di qualche altro buon conduttore.

Una cellula della mucosa orale. La ripresa è stata fatta a 1000 ingrandimenti.

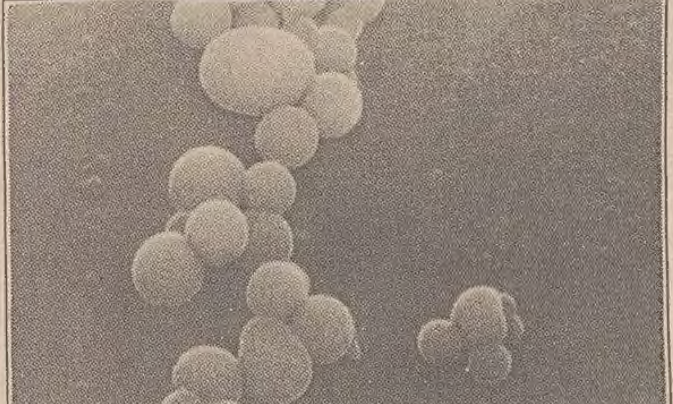


Zoom sui corrugamenti dell ficie della cellula, su cui si sono attaccati dei batter richia Coli.



Zoom successivo, a 10.000 ingrandimenti, con batteri di Escherichia Coli.

Colonie di stafilococchi adesi alla superficie esterna di un catetere. Foto ripresa a 10.000 ingrandimenti.



Una colonia più piccola di stafilococchi, ripresa a 20.000 ingrandimenti.

una scienza per la complessità

Il segreto del successo della natura sta nella cooperazione spontanea

intervista a
Hermann Haken,
Università
di Stoccarda

Il ruolo di "svelatore di misteri" non sembra certo addirsi a Hermann Haken, che il pubblico italiano conosce soprattutto per il volume pubblicato da Boringhieri nel 1983. Eppure il titolo di quel breve ma avvincente saggio *(Sinergetica: il segreto del successo della natura)*, che spazia dalla fisica quantistica alla biologia, dalla chimica alla sociologia, dalla teoria delle catastrofi ai sistemi caotici, sembrerebbe farne una specie di nuovo "mago del Nord": un profeta del romanticismo del nostro tempo, alla ricerca dell'unità profonda delle leggi naturali. Ma la realtà è quanto mai diversa. Haken, che dirige un importante istituto di fisica all'Università di Stoccarda, è una delle maggiori autorità nella teoria dei laser ed è l'ispiratore di un indirizzo di studi interdisciplinari, la sinergetica, appunto, che ha al suo attivo un'ormai imponente messe di lavori, in parte raccolti nella collana che alla sinergetica ha dedicato l'editore scientifico Springer. A Haken, che abbiamo incontrato a Stoccarda, abbiamo chiesto innanzitutto:

Che cosa significa sinergetica?

La parola è ripresa dal greco, e indica in genere una "azione collettiva". La sinergetica è dunque una scienza che studia i fenomeni in cui si ha un operare col lettivo di vari elementi.
Sappiamo che tutti i sistemi di cui si può occupare la scienza si compongono di singole parti: l'uomo è composto di organi, gli organi sono formati da cellule e le cellule sono a loro volta composte di molecole; anche un cristallo è composto da atomi, e un laser è composto dalle singole molecole e dalle onde luminose che esso produce.
Sinora si è sempre tentato di ricondurre la complessità del mondo ai singoli elementi che lo compongono, secondo l'indirizzo filosofico indicato da Descartes. Oggi però si tende a riconoscere che tali elementi costitutivi non sono in grado di per sé di spiegare né i sistemi complessi né il mondo nel suo insieme.
Si pensi ad esempio a una corda di violino: le oscillazioni a cui essa è soggetta si possono ricondurre ai moti degli atomi di cui è costituita; ma non avrebbe alcun senso voler stabilire tutte le posizioni dei singoli atomi. Occorrerà quindi trovare nuovi strumenti concettuali, che nel caso della corda vibrante saranno la sua lunghezza d'onda e l'ampiezza delle oscillazioni.
La sinergetica si occupa dunque dei nuovi strumenti concettuali e dei nuovi principi necessari per spiegare l'affermarsi di un ordine macroscopico a partire dalle singole parti di un sistema.

Il suo primo libro dedicato alla sinergetica è dedicato principalmente ai fenomeni di transizione di fase: come mai questo tema è così importante in sinergetica?

Le transizioni di fase rappresentano una categoria di fenomeni largamente diffusi in sistemi che si trovano in condizioni di equilibrio termico. Un esempio sono quei materiali noti come "superconduttori". Quando si raffreddano determinati materiali al di sotto di una certa temperatura, questi perdono completamente le caratteristiche di resistività che presentavano a temperatura ambiente: la loro conduttività elettrica diventa infinita. Questa è una tipica transizione di fase, nel corso della quale dalla fase della conduttività metallica si passa alla fase di superconduttività.
Un altro esempio sono i ferromagneti: se si raffredda un ferromagnete, esso diviene improvvisamente magnetico; ma, al di sopra di una certa temperatura, esso diventa paramagnetico. Anche in questo caso si ripresenta il fenomeno di un improvviso cambiamento di stato, ossia della transizione di fase di un sistema.
Più di vent'anni fa abbiamo osservato che queste transizioni si verificano anche in altri sistemi, vale a dire in sistemi che non si trovano in condizioni di equilibrio termico, ma ne sono anzi ben lontani: si tratta dei cosiddetti "sistemi aperti", in cui vi è un costante apporto esterno di energia o di materia che vengono poi nuovamente scaricate dal sistema nell'ambiente. In questi sistemi aperti (l'esempio da amo partiti allora era la luce laser) possonc enire transizioni veramente brusche. Ad pio, nel caso del laser, osserviamo che, rifdo questo apparecchio con una scarsa qua di energia, esso opera come una normale ada monocromatica (ad es. una lampada al): vale a dire che i singoli atomi del laser erno sì luce, ma le singole onde luminose son npletamente disordinate e rappresentano u roscopico caos. Ma se si aumenta sempre a quantità di energia immessa nel laser, dima le onde luminose divengono più amp ur rimanendo completamente scoordinate, a partire da un certo valore di energia, si rva qualcosa di completamente nuovo: si te al formarsi di una sola onda che si prop rimanendo inalterata; ciò significa che lo s del sistema si è modificato da quello di caos oscopico a quello altamente ordinato di una on da di frequenza ben definita. Abbiamo que in pratica un'onda infinitamente lunga nché il laser resta in funzione continua a e re un'onda "coerente".

Gli esempi che cordato ora sono tratti dalla fisica; ma fenom di transizione di fase si verificano anche in campi, come ad esempio in biologia, in chim..

Infatti. Possiam servare che le trasformazioni qualitative che no a fondamento della regolarità delle tran oni di fase si verificano negli ambiti più dive Ad esempio in chimica, nel corso di deter ate reazioni, si osservano improvvisamente scillazioni accompagnate da un'alternanza odica del colore del prodotto, che passa dal al rosso, e così via; oppure anche la form ne di strutture macroscopiche, come onde ci ri o spirali.
Anche in biol esistono molti fenomeni in cui si osservano nsizioni di fase o il formarsi di strutture mac copiche: lo sviluppo della forma vivente (mor nesi) è la successione di strutture multicellul sempre nuove. L'evoluzione può

Queste str ure si formano nel corso di determinate reazioni chim e, dette di Beloùsov-Zhabotinskij, e indicano il fronte di ffusione della reazione, che si propaga in forma ordin nello spazio a mo' di "onde" circolari e concentriche.

essere nsiderata come una sequenza di modificazio di fase, in cui si verifica via via la comparsa d una nuova specie oppure l'estinzione di un'altra e ogni volta si presenta una struttura macro opica nuova. Nel comportamento degli animal e dell'uomo si osservano transizioni di fase. Sa piamo tutti che i cavalli possono procedere a iverse andature: possono andare al passo, al tto, al galoppo, mettendo di volta in volta in atto iversi modelli di comportamento.
Si pen anche a quello che accade nei fenomeni della rcezione: noi siamo in grado di riconoscere mediatamente determinati oggetti; però, se mo ifichiamo alcune caratteristiche dell'oggetto, llora nella nostra percezione esso appare come ualcosa d'altro.

Quali ono i concetti-chia ve della sinergetica?

In sin getica esistono vari strumenti concettuali, oss vari concetti, come *parametro di controllo, pa metro d'ordine, subordinazione, stabilità*: cerch rò di dirne in breve le caratteristiche.
Con i *parametri di controllo* è possibile influenzare un sistema dall'esterno. Nel laser, ad esempio, il parametro di controllo rilevante è la quantità di energia immessa; in una reazione chimica questo parametro corrisponde alla concentrazione delle sostanze reagenti che vengono immesse. Nell'evoluzione delle specie animali il parametro di controllo può essere costituito dalle condizioni esterne; qui la temperatura dell'ambiente o l'esposizione ai raggi solari possono svolgere la funzione di parametri di controllo. Nel rapporto tra diverse specie animali, una specie può rivestire la funzione di parametro di controllo nei confronti della diffusione e dell'evoluzione di un'altra specie. Questa è dunque la classe dei parametri di controllo che vengono imposti al sistema dall'esterno, e che da un punto di vista generale sono specifici, in quanto in essi non è affatto individuabile la conformazione della struttura del sistema: sono semplici parametri esterni suscettibili di modificazione.
Poi esiste il meccanismo della formazione di modelli: abbiamo stabilito che questi modelli possono essere determinati in base a pochi parametri interni, detti *parametri d'ordine*. Per tornare all'esempio del laser, una volta che si è formata un'onda luminosa è quest'onda a fungere da parametro d'ordine del sistema. E così possiamo osservare che, dal momento in cui uno o più parametri d'ordine si sono costituiti, essi hanno assunto il dominio su tutte le parti del sistema; ciò significa che nel laser gli elettroni devono seguire certe orbite; lo stesso vale anche nelle scienze cognitive, a proposito di determinati oggetti della percezione: la fisionomia di un volto è un parametro d'ordine; anche se il volto viene mostrato in maniera incompleta, il parametro d'ordine fa sì che tutti i neuroni siano costretti a completare i tratti di quel volto, per ristabilire lo stato specifico a cui esso corrisponde.
Esiste poi il concetto di *stabilità* e *instabilità* di un sistema: in presenza di un determinato parametro di controllo, un sistema si trova in un corrispondente stato ordinato, oppure in uno stato omogeneo in cui non è presente alcuna struttura; poi, immettendo dell'energia nel sistema o alterando qualche altro parametro di controllo, il precedente stato diventa instabile e tende ad assumere un nuovo ordine; ciò significa che la modifica del parametro di controllo genera instabilità. Una volta raggiunto uno stato instabile, il parametro d'ordine assume il dominio del sistema, costringendolo a organizzarsi in un nuovo stato ordinato.

Si direbbe che nelle scienze contemporanee svolgano una parte importante le dinamiche non lineari, cioè quei modelli che prevedono una continua e reciproca interazione tra diversi parametri del sistema. Lei è d'accordo?

In sostanza sì. Ma bisogna tener conto del fatto che, sebbene tutti i processi importanti in sinergetica siano effettivamente non lineari, esiste anche un secondo aspetto che viene sempre trascurato nelle teorie dei sistemi dinamici, e cioè il ruolo della stocastica e dei processi casuali. In una parola: il ruolo degli eventi casuali. In sinergetica abbiamo imparato che effetti macroscopici vengono sempre o quasi sempre scatenati da effetti microscopici, e che gli effetti microscopici che sono puramente casuali influenzano in seguito il corso delle cose a livello macroscopico. Voglio ricordare solo un semplice esempio: s e prendiamo un liquido e lo riscaldiamo da sotto, potranno formarvisi dei "rulli" di convezione; ma se questi "rulli" ruoteranno in senso orario o in senso antiorario è un fatto che dipende da fluttuazioni iniziali puramente casuali, e in genere queste fluttuazioni avvengono a livello microscopico. Ciò significa che la teoria dei sistemi non lineari è incompleta se non viene integrata dall'intervento decisivo di processi casuali.

Ciò significa che per capire la natura abbiamo bisogno del caso...?

Sì, si può dire così.

Ma la stocastica non è solo un modo di vedere le cose? Esiste un caso "in sé"?

Ci sono diversi indirizzi interpretativi: io penso che, se ci limitiamo alla fisica classica, è corretta l'idea che il caso, come lei dice, non sia necessario. Ma se voglio fare un passo avanti, con la teoria quantistica, allora il caso è necessario; la teoria quantistica si basa in maniera decisiva sui processi stocastici: io non posso prevedere quando un determinato atomo di un sistema emetterà un quanto di luce, un'onda luminosa, ma posso elaborare un modello di quel sistema, fatto di moltissimi atomi, e prevederne il comportamento, cioè dire quanti atomi emetteranno in determinate condizioni...

Che cosa si intende quando si parla di caos a proposito di sistemi complessi?

A questo proposito si è diffusa recentemente una certa confusione, perché esistono diverse specie di caos. Pensiamo a un gas: in un gas le singole molecole si muovono disordinatamente nello spazio. Oppure pensiamo a una fonte di luce: qui le singole onde luminose vengono emesse in maniera indipendente l'una rispetto all'altra. Sia nell'uno che nell'altro caso parliamo sempre di un caos microscopico: un caos microscopico consiste di molti eventi irregolari.
La concezione più moderna di caos fa riferimento invece a qualcosa di diverso. Se ora a esempio torniamo a pensare al laser, nel laser si forma anzitutto un'onda luminosa estremamente ordinata; esiste poi anche il caso in cui si possono produrre contemporaneamente tre onde luminose, e queste tre bastano già a suscitare un'irradiazione del tutto irregolare: ciò è proprio quello che si può designare col nome di caos *deterministico*. Quindi in un caos deterministico vi sono poche fonti di organizzazione, per così dire, pochi parametri d'ordine che agiscono insieme in maniera complessa, e in tal modo suscitano effetti del tutto irregolari.

Le strutture corrispondono alla distribuzione di un enzima (cAMP) prodotto da colonie di organismi unicellulari per organizzarsi in formazioni ordinate (miceli) e poter meglio resistere a condizioni ambientali avverse: in questo caso l'enzima funge da parametro d'ordine del sistema.

Dunque il caos per la scienza moderna è un nuovo oggetto di interesse?

Quello che la ricerca più recente designa come caos è proprio il cosiddetto caos deterministico, per il quale non c'è bisogno di far ricorso a forze casuali. Anche un sistema meccanico può risultare completamente caotico: il punto di vista decisivo al riguardo è la conformità alle condizioni iniziali. Ciò può essere reso immediatamente chiaro con un esempio: si pensi a un rasoio collocato in modo da presentare il lato affilato della lama verso l'alto, su cui si farà cadere una piccola biglia d'acciaio. A seconda di dove cade, la biglia rimbalzerà compiendo un'ampia parabola a sinistra oppure a destra della lama; è chiaro che, se il centro della biglia cade appena un po' più a destra della lama, la sfera si comporterà in maniera completamente differente rispetto a come farebbe se fosse caduta un po' più a sinistra. Questo mostra come una piccola modifica delle condizioni iniziali puossa provocare un gigantesco effetto macroscopico. Anche molti altri eventi di questo genere si producono sulla base di questi fondamenti. Fu E. M. Lorenz il primo a rendersi conto, in America, del fatto che anche nell'evoluzione del tempo atmosferico dominano eventi simili: piccole modificazioni delle condizioni iniziali possono portare a grandi modificazioni nel successivo decorso dei fenomeni...

Com'è giunto ai concetti fondamentali della sinergetica?

Partendo dalla fisica del laser. Nel corso dei miei studi sul laser avevo visto come la luce "disordinata" potesse passare improvvisamente all'ordine caratteristico della luce laser, e questo era, alla luce delle nostre scoperte di allora, un fenomeno che ricordava molto da vicino fenomeni di transizione di fase, come superconduttività, ferromagnetismo, eccetera. Sapevamo inoltre che i fenomeni di transizione di fase in condizioni di equilibrio termico sono molto diffusi, e perciò venne spontaneo pensare che queste transizioni di fase si sarebbero potute riscontrare in una quantità di altri sistemi lontani dall'equilibrio termico. Vi erano poi anche degli altri indizi, a esempio quelli relativi alle teorie di Manfred Eigen sulla teoria dell'evoluzione; avevamo osservato che le equazioni di Eigen sono le stesse che ritroviamo nella fisica del laser. Ora, sarebbe sorprendente se si trattasse di un caso che in campi completamente diversi, come appunto la fisica e la biologia, si osservino le stesse equazioni... Fu proprio questo elemento che mi fece pensare che tali transizioni di fase in condizioni di non-equilibrio potessero essere ampiamente diffuse, e che si sarebbero dovute cercare di individuare e studiare sistematicamente allo scopo di definire i principi che governano tali transizioni. Era il 1969, nel corso di un seminario qui a Stoccarda, e allora mi dissi che occorreva una disciplina nuova, la sinergetica, da dedicare allo studio di questi fenomeni. Ben presto avevo trovato una serie di esempi che potevano essere descritti per mezzo di parametri d'ordine. Poi abbiamo iniziato a elaborare sistematicamente questi spunti.

Qual è attualmente il punto in cui si trova la sinergetica, il suo *state of the art*?

Per quanto riguarda la fisica e la chimica siamo in grado di comprendere abbastanza bene questo genere di processi, e anche in biologia vi è una serie di fenomeni, specie nella morfogenesi, che riusciamo a spiegare in maniera eccellente grazie alla sinergetica. Ma la cosa veramente nuova e sorprendente è che la sinergetica fa strada anche in ambiti sempre nuovi: uno è a esempio la questione della "coordinazione dei movimenti", in cui si vanno profilando spunti interessanti; poi va ricordata la collaborazione in atto con gli psicologi, a esempio per quanto riguarda la percezione di immagini dove si osservano delle oscillazioni nel riconoscimento della figura percepita; in questo ambito i modelli della sinergetica consentono di formulare ipotesi molto interessanti. Un altro ambito che si è aperto di recente è quello della medicina, ad esempio nello studio della coordinazione tra circolazione sanguigna, attività cardiaca, moti oculari, attività cerebrale ed elettroencefalogramma, in cui si riscontra la formazione di campi elettrici che riguardano un gran numero di neuroni. E poi vi sono altri indirizzi, relativi all'impiego dei concetti della sinergetica in economia.

sinergetica

Concetti chiave

Le transizioni di fase

La sinergetica si occupa principalmente di come si costituiscono spontaneamente strutture ordinate in sistemi complessi. Ciò può avvenire nel corso di particolari trasformazioni, note in fisica come *transizioni di fase*.
Le transizioni di fase coinvolgono sistemi costituiti di tanti elementi interagenti: una transizione di fase consiste nel passaggio a un diverso stato del sistema, con diverse proprietà di struttura interna. Un esempio semplicissimo è quello dell'acqua che bolle, passando così dallo stato liquido a quello gassoso. Ma una transizione di fase può essere vista anche come l'effetto su larga scala di una cooperazione su scala microscopica. L'effetto di questa "cooperazione" è misurato da un *parametro d'ordine*. Vediamo alcuni esempi.
Il ferromagnete di Landau. E' un modello di come funziona una particolare sorta di magnete. Immaginiamo di scomporre le forze magnetiche presenti in un pezzo di metallo ferroso in tante componenti, che chiameremo *magnetoni elementari* (o dipoli atomici), orientabili in qualunque direzione. Se i magnetoni sono in una configurazione complementare disordinata il sistema è nella fase paramagnetica (ossia *non* si comporta come un magnete). Se però la temperatura del sistema scende al di sotto di un valore critico, detto *temperatura di Curie*, i magnetoni tenderanno spontaneamente ad allinearsi, dando luogo alla transizione dalla fase paramagnetica a quella *ferromagnetica* in cui il sistema presenta magnetizzazione. La magnetizzazione è dunque un effetto cooperativo dei magnetoni ed è caratterizzata da un *parametro d'ordine* che è la differenza tra il numero di magnetoni orientati nei due versi opposti: esso praticamente misura l'intensità della magnetizzazione. Nella fase ferromagnetica esiste una direzione privilegiata di allineamento magnetico (che corrisponde all'asse Nord-Sud della calamita).

Rottura della simmetria e parametro d'ordine

La convezione. Se riscaldiamo un recipiente pieno d'acqua, in quest'ultima si formeranno dei moti, detti di *convezione*: l'acqua più vicina alla fonte di calore, sul fondo, si riscalderà e, diventando così meno densa e più leggera, tenderà a salire verso la superficie; qui il contatto con l'acqua circostante più fredda e la maggiore distanza dalla fonte di calore la faranno raffreddare, e dunque ridiventare più densa e più pesante; in tal modo quella stessa porzione d'acqua tenderà a ridiscendere verso il fondo, dove il ciclo ricomincerà da capo. Assisteremo così al formarsi nel liquido di un moto periodico: la densità del liquido determinerà la formazione di una certa quantità di "rulli" in movimento circolare nel nostro recipiente; in ognuno di essi si verificherà il moto di convezione che abbiamo descritto. Ogni rullo sarà poi a stretto contatto con l'altro, e le correnti che si formeranno in ciascun rullo influenzeranno direttamente il rullo adiacente (figura). E' dunque chiaro che il "primo" rullo in cui si instaurerà un moto circolare in senso orario piuttosto che in senso antiorario condizionerà da ultimo tutto il sistema ad assoggettarsi al verso preso. Il momento in cui i rulli cominceranno a ruotare, è quello in cui un determinato parametro d'ordine ha assunto il dominio del sistema.
In tal modo delle fluttuazioni a livello microscopico (cioè quei primi moti casuali compiuti dalle molecole d'acqua esposte all'azione del calore) si tradurranno da ultimo nell'instaurarsi di un ordine macroscopico nel sistema (i rulli di convezione che ruotano in un senso piuttosto che nell'altro). Si parla, a questo proposito, di rottura spontanea della simmetria in quanto il sistema passa da una configurazione simmetrica ma instabile a una delle possibili configurazioni energeticamente stabili, ovvero a energia minima.
Un altro caso in cui si assiste al formarsi di strutture altamente ordinate, è quello delle reazioni chimiche periodiche di Beloùsov e Zhabotinskij: qui la reazione tra due sostanze chimiche si manifesta in configurazioni a forma di "onde" circolari e concentriche, di colore diverso, che vanno allargandosi verso l'esterno. Esse sono dovute al verificarsi di determinate trasformazioni chimiche, a cui succede poi una reazione inversa, che porta a una restaurazione del vecchio stato: il risultato è appunto una reazione "periodica".
Sia in questo caso che in quello dei rulli di convezione, è sufficiente la semplice immissione nel sistema di materia o di energia a provocare la formazione spontanea di configurazioni ordinate: il parametro che governa l'instaurarsi di questo ordine si può rappresentare con un parametro che è chiamato da Haken *parametro d'ordine* del sistema, mentre le condizioni fisiche generali del sistema sono rappresentate dai *parametri di controllo* (uno di questi è, nei nostri esempi, il calore somministrato al recipiente d'acqua; oppure l'introduzione di un reagente nel reattore).

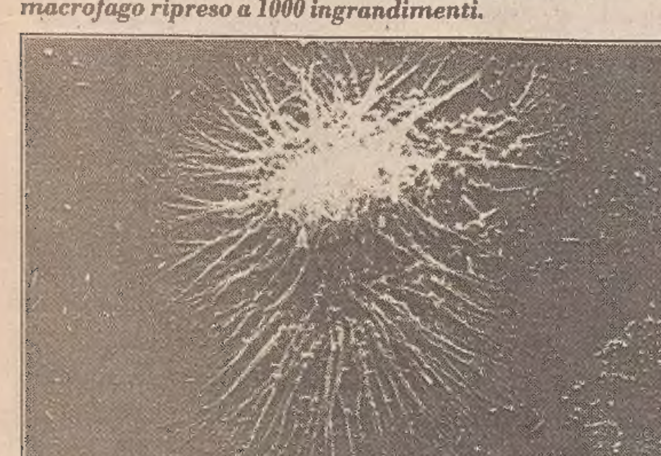
Hermann Haken *è nato nel 1927; dopo gli studi in matematica e fisica presso le università di Halle ed Erlangen, ha conseguito il dottorato in matematica a Erlangen nel 1951; professore dal 1956, insegna dal 1960 fisica teorica all'Università di Stoccarda. Ha insegnato in numerose istituzioni scientifiche negli Usa, in Gran Bretagna, Francia, Giappone e Urss, oltre che presso il Centro di fisica teorica di Trieste.*

Per saperne di più

Sulla sinergetica
Hermann Haken, Sinergetica: il segreto del successo della natura, *Torino, Boringheri 1983*
Sull'autoorganizzazione
Gregoire Nicolis, Physics of far-from-equilibrium systems and self-organization, *in* (AA. VV.) New Physics, *a cura di Paul Davies, Cambridge University Press, Cambridge 1989, pp. 317-947 (volume di prossima uscita in traduzione italiana).*

Il campione viene incollato alla sommità di un supporto a forma di funghetto. Una volta inserito questo "funghetto" nella macchina, gli viene creato attorno il vuoto: altrimenti il fascio di elettroni verrebbe disturbato dalle molecole dei gas contenuti nell'aria.

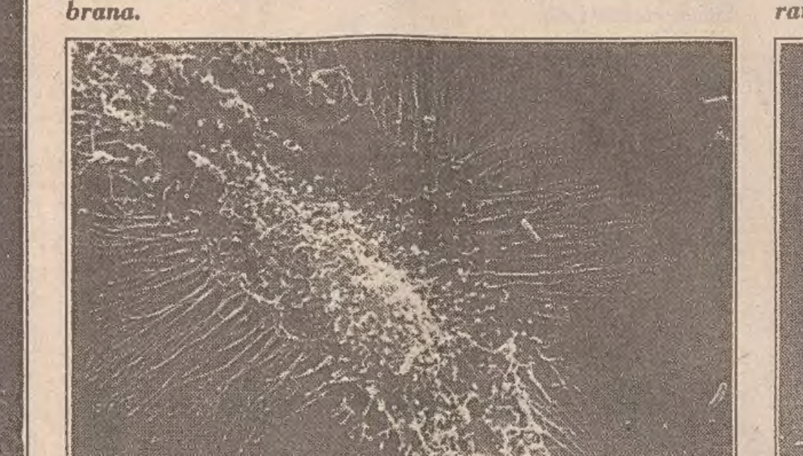
Qui sotto: un macrofago (grande globulo bianco che ha la funzione di fagocitare e uccidere microbi). Accanto: altro macrofago ripreso a 1000 ingrandimenti.



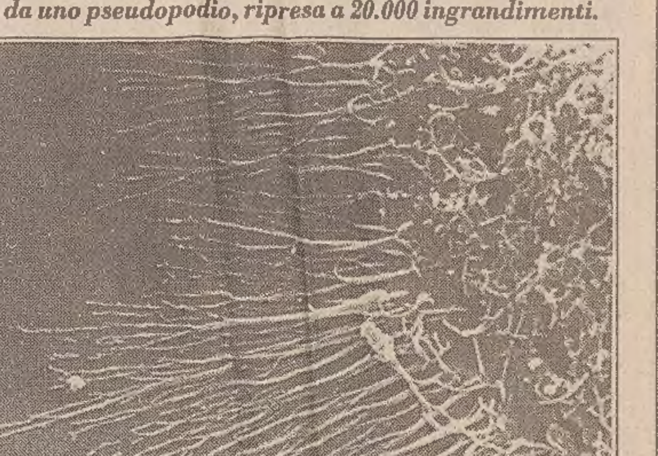
Il microscopio elettronico a scansione è utilizzato nella ricerca scientifica e tecnologica ovunque interessi conoscere la struttura e la conformazione delle superfici di un oggetto. Tutti gli oggetti contenuti sul "funghetto" appaiono infatti a fuoco, con una grande profondità di campo dell'immagine, ed è possibile ottenere ingrandimenti fino a molte decine di migliaia di volte.

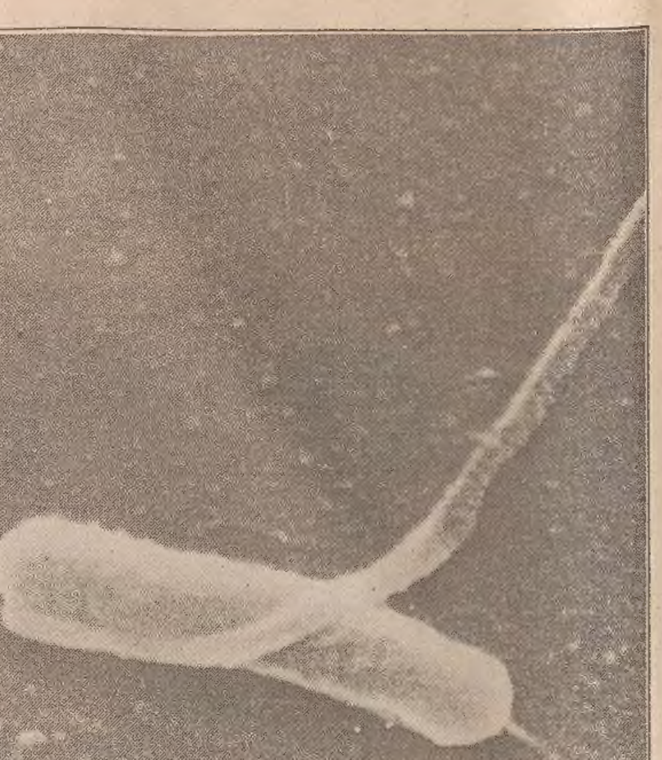
Le foto sono state realizzate presso il Laboratorio di Microscopia Elettronica del Dipartimento di Biologia, da Tito Ubaldini (pagine 1-2) e da Tarcisio Not (pagine 3-4).

Lo stesso macrofago fotografato a 20.000 ingrandimenti. Si possono distinguere alcuni batteri intrappolati sulla membrana.



Sotto: la struttura degli pseudopodi del macrofago, ripresa a 5000 ingrandimenti. A destra: cellula batterica catturata da uno pseudopodio, ripresa a 20.000 ingrandimenti.





nucleare

Il futuro del nucleare in Polonia e nell'Est europeo

di *Ryszard Raczka*,
Università
di Varsavia

In molti Paesi le centrali nucleari per forniscono una porzione considerevole dell'energia elettrica prodotta complessivamente: in Francia a esempio questa componente è del 74%, in Belgio del 68%, in Ungheria del 49%, in Svezia e in Sud Corea del 47%, ecc. In origine il costo della produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari era inferiore a quello delle centrali a combustibili tradizionali. Inoltre l'inquinamento diffuso negli immediati dintorni dalle centrali nucleari era considerevolmente inferiore a quello delle centrali convenzionali. L'inquinamento è caratterizzato dalla quantità di aria necessaria per ridurre il totale complessivo di materiali al di sotto delle soglie ammesse dalla legge. Da questo punto di vista le analisi dimostrano che una centrale a carbone da 1000 megawatt emette nell'atmosfera in un anno una quantità di materiali inquinanti sufficiente a inquinare 5 milioni di chilometri cubi d'aria, di contro ai 23 chilometri cubi di atmosfera inquinati in un anno da una centrale nucleare. Ne risulta che l'inquinamento atmosferico che deriva dall'attività di una centrale nucleare è circa 200.000 volte inferiore a quello prodotto da una centrale a carbone di tipo tradizionale.

Queste considerazioni di ordine economico ed ecologico hanno fatto sì che negli anni Settanta e all'inizio degli anni Ottanta il numero di reattori nucleari per la produzione di energia elettrica siano andati rapidamente moltiplicandosi in diversi Paesi, specialmente negli Stati Uniti, in Giappone, in Francia e in Unione Sovietica. Tuttavia, a causa dei numerosi incidenti verificatisi in centrali nucleari nel corso degli anni Ottanta, diversi gruppi sociali hanno iniziato a esercitare una forte pressione affinché fossero migliorati gli standard di sicurezza degli impianti nucleari. Negli Stati Uniti, a esempio, nel 1970 esistevano 4 leggi che regolamentavano questo settore; nel 1973 le leggi erano già 108, e 784 nel 1978. Anche il numero dei dipendenti che lavoravano nell'agenzia governativa per la sicurezza nucleare, che nel 1967 disponeva di 464 dipendenti e aveva concesso 21 permessi per reattori nucleari destinati alla produzione di energia, nel 1975 era cresciuto a 1536 persone e nel 1981 a 3331 impiegati, che però poterono concedere solo 4 permessi per la costruzione di centrali nucleari.

L'aumento dei requisiti di sicurezza ha fatto a sua volta crescere considerevolmente il costo della costruzione di questi impianti. Di conseguenza, nella maggior parte dei Paesi il costo dell'elettricità ottenibile da centrali nucleari è divenuto negli ultimi anni ben più elevato di quello dell'energia prodotta con centrali di tipo tradizionale. E' per questo motivo che i governi e le ditte private si sono dimostrate sempre meno interessate alla costruzione di nuove centrali nucleari, e il loro numero è andato considerevolmente riducendosi negli ultimi anni.

Nei Paesi del blocco socialista l'obiettivo di ottenere elettricità a basso costo da impianti nucleari ha fatto sì che i livelli di sicurezza ammessi risultassero inferiori a quelli consentiti nell'Europa occidentale e negli Stati Uniti. Di regola le centrali nucleari "socialiste" non sono fornite di un rivestimento esterno del cemento che impedisce la fuoriuscita di materiale radioattivo in caso di incidenti nucleari. In secondo luogo gli standard di sicurezza relativi alla costruzione, all'installazione e al controllo delle apparecchiature sono restati sempre gli stessi. Un buon esempio di quello che accade è fornito dalla centrale nucleare di Greifswald, nella ex Repubblica democratica tedesca costruita dai sovietici. Nel 1976 si verificò in questa centrale un incidente nel corso del quale i cavi dell'alimentazione per le pompe dell'impianto di raffreddamento si incendiarono; di conseguenza si verificò un aumento della temperatura dei materiali radioattivi, e si rischiò che avvenisse una fuoriuscita di materiale nucleare simile a quella verificatasi a Chernobyl. Il personale dei reattori tentò di azionare le pompe di emergenza; ma, allo scopo di ridurre i costi di costruzione della centrale, i cavi di alimentazione sia delle pompe ordinarie che di quelle di emergenza erano stati collocati nella stessa canaletta (cosa assolutamente vietata in Occidente), e di conseguenza anche i cavi delle pompe di emergenza presero fuoco. Per fortuna un errore compiuto nella costruzione della centrale fece sì che una parte dei cavi destinati all'alimentazione di una pompa di emergenza fosse stata collocata in una canaletta separata, che non era stata intaccata dal fuoco. Fu grazie a questa pompa di emergenza che nel 1976 si riuscì a evitare che l'Europa centrale fosse teatro di una catastrofe paragonabile a quella che dieci anni dopo sconvolse la regione di Chernobyl.

Questo e altri inconvenienti che sono stati riscontrati di recente nella centrale nucleare di Greifswald nella Rdt hanno portato alla decisione di chiudere i quattro reattori della centrale entro metà dicembre, in quanto non conformi alla normativa Cee.

La catastrofe nucleare di Chernobyl nel 1986 ha provocato una revisione delle istallazioni di sicurezza in tutti i 52 reattori nucleari operanti in Unione Sovietica e di tutti quelli dei Paesi socialisti, che ha portato alla chiusura delle centrali nucleari in Armenia. E' stata inoltre sospesa la costruzione di varie centrali nucleari in cantiere in Ucraina. Nella sola Unione Sovietica sono comunque attualmente incostruzione 26 nuovi reattori, mentre 2 sono stati chiusi di recente. Attualmente a Kiev è in corso uno sciopero della fame, mediante il quale i dimostranti mirano a ottenere la chiusura dei 3 reattori di Chernobyl.

In Polonia una centrale nucleare era in fase avanzata di costruzione a Zarnowiec, presso Gdansk: ma dopo la catastrofe di Chernobyl violente dimostrazioni delle popolazioni locali hanno portato all'indizione di una consultazione pubblica, nel corso della quale la popolazione residente nel distretto di Gdansk si è rivelata per l'87% contraria alla costruzione del nuovo impianto. Inoltre, uno sciopero della fame attuato per 30 giorni da un gruppo di giovani ha procurato un'ampia notorietà all'idea di bloccare completamente i lavori di costruzione dell'impianto di Zarnowiec. La situazione ha quindi portato il governo Mazowiecki a decidere l'arresto di ogni ulteriore lavoro per la costruzione della progettata centrale di Zarnowiec. Questa decisione non appare realmente giustificata né dal punto di vista tecnico né da quello economico; pure, la pressione sociale esercitata per ottenere la chiusura del cantiere è stata talmente forte che il governo non aveva altra scelta che quella di bloccare i lavori.

La ricaduta dell'incidente di Chernobyl si è fatta pesantemente sentire anche fuori dei confini dell'Urss: in particolare, in Polonia i ricercatori polacchi e statunitensi che studiano la contaminazione radioattiva provocata dall'incidente hanno riscontrato nei cani esaminati un aumento del 600% dell'incidenza del cancro alla gola; terreno, zone boschive, alimenti come latte, carne e specialmente i funghi presentano valori di radioattività superiori al normale. Si parla anche di un considerevole aumento dei casi di leucemia tra i bambini, ma non esistono ancora dati certi sul fenomeno. All'argomento dedicheremo un articolo nel prossimo numero di questo giornale.

Ricordiamo che anche la centrale nucleare recentemente ultimata in Austria, presso Vienna, e costruita in base ai più elevati standard di sicurezza, non ha potuto entrare in funzione a causa delle violente proteste delle popolazioni locali. Situazioni analoghe si verificano anche nella Germania occidentale, ove vi sono forti pressioni sociali per impedire che vengano ultimate le centrali attualmente in cantiere.

Tutti questi esempi dimostrano che nei prossimi anni, a causa di fattori sociali e politici, lo sviluppo delle centrali nucleari si arresterà in Europa centrale e orientale.

Tra le pubblicazioni dell'Immaginario Scientifico
vi sono anche i
Quaderni del Laboratorio
titoli pubblicati:
nella serie "Incontri con le stelle"
Margherita Hack
La Galassia e le sue popolazioni
Steno Ferluga
L'orizzonte cosmico
Mauro Messerotti
Ipotesi sull'esistenza di civiltà extraterrestri
Paolo Budinich
I raggi cosmici e l'antimateria
Paolo Zlobec
Radioastronomia: vedere l'invisibile
nella serie "Incontri con il mare"
Serena Fonda-Umani
Le catene alimentari
Elvezio Ghirardelli
Fisiologia e patologia del mare
Antonio Brambati
La terra e il mare
è imminente la pubblicazione di
Gallieno Denardo e Orazio Svelto
La luce del laser
(accompagnato da videocassetta VHS)
Franco Stravisi
Il mare e il clima
I Quaderni si possono acquistare in libreria o direttamente presso l'Editore:
Editoriale Libraria, Via S. Francesco 62, Trieste tel. 040/764276

forum

Ormone a sensazione

ne parliamo con
Franco Panizon,
Ospedale infantile
Burlo Garofolo
di Trieste

Qualche mese fa la stampa ha riportato con molto rumore gli effetti straordinari, in termini di qualità della vita, ottenuti negli Usa somministrando in via sperimentale l'ormone della crescita a un gruppo selezionato di anziani. Si è trovato davvero l'elisir dell'eterna giovinezza o si tratta di bluff, di un'esagerazione amplificata dai giornali che amano la scienza sensazionale (soprattutto in estate)?. Insomma: ci possiamo sperare, o no?

Credo ci debbano essere pochi motivi per dubitare del valore intrinseco delle osservazioni riferite. Checché si possa pensare, in astratto, sull'obiettività della scienza, bisogna ammettere che il rigore metodologico richiesto da un risultato scientifico difficilmente permette di prendere o di far prendere fischi per fiaschi.

Il risultato conseguito con la scoperta dell' "ormone della giovinezza", pur se criticato da alcuni, è costituito da una serie di esperimenti paralleli (ognuna delle persone sottoposte, infatti, si configura come un esperimento a sé) i cui risultati esprimono complessivamente un dato statistico con valori di probabilità ben misurabili e margine di errore molto piccolo, in base ai requisiti di ogni conclusione scientifica. Inoltre, gli effetti osservati (diminuzione del grasso, aumento della sintesi proteica e delle masse muscolari, modificazione e maturazione delle cellule endocrine del testicolo, moltiplicazione di quelle linfocitarie preposte ai processi immunitari, miglioramento dell'ossificazione, e così via) non sono nuovi, ma confermano quanto già si sapeva sull'argomento. L'ormone, infatti, agisce stimolando le somatomedine, che appartengono alla stessa famiglia del *nerve growth factor* scoperto da Rita Levi-Montalcini come il "fattore di crescita" nell'organizzazione di una serie di funzioni e di tipi cellulari. Infine esiste la sperimentazione di questo ormone in pediatria, anche in casi diversi dal nanismo per difetto ipofisario di lunga data. Il grandissimo numero di pazienti trattato con successo e senza effetti indesiderati importanti è stato ritenuto sufficiente per far valutare anche l'unico pericolo (un maggior rischio di contrarre la leucemia) come quantitativamente minimo e sostanzialmente irrilevante.

Ma in questo caso si tratta di anziani da ringiovanire, non di bambini con una statura inferiore alla media da far crescere...

Certo. Tra aiutare la crescita di bambini sotto statura e rallentare la decadenza degli anziani, la prima operazione sembra un correttivo in accordo con la natura, la seconda in qualche modo contro natura. Somministrando l'ormone ai vecchi, che ne hanno troppo poco, si va contro i ritmi dell'orologio biologico che governa la nostra vita, producendo sicuramente piccoli o grandi squilibri. Tuttavia conoscevamo già certi effetti dell'ormone sull'anziano in una "sperimentazione" naturale: è il caso di un piccolo tumore benigno dell'ipofisi che produce un eccesso di ormone, e se da un lato procura una serie di fastidiosi disturbi dall'altro rende i soggetti che ne sono affetti più attivi e fisicamente più prestanti dei loro coetanei. D'altra parte bisogna ammettere che anche i rischi, cambiando età, assumono un peso differente.

Allora, le conseguenze di questa applicazione non convenzionale dell'ormone della crescita potrebbero essere in complesso positive...

Non è così semplice. Inevitabilmente nuovi desideri faranno nascere aspettative, indurranno bisogni, muoveranno interessi. Quando ho affermato che la scienza è obiettiva non ho detto che sia anche neutrale, lo scienziato fa parte di un contesto, le sue ricerche in parte sono indotte e in parte inducono interessi. Quelli correlati all'ormone della crescita sono enormi. L'ingegneria molecolare e le nuove biotecnologie oggi consentono di costruire in laboratorio, in quantità praticamente illimitata, una complessa "molecola naturale" che un tempo poteva essere estratta solo in piccolissima quantità e a costi rilevanti dall'ipofisi di cadavere. Ma un bene che può essere prodotto su scala industriale segue una logica di mercato. L'industria non si lascerà sfuggire l'occasione offerta da una scoperta potenzialmente più rivoluzionaria dell'automobile, intensificherà la ricerca, cercherà di espandere il mercato. I costi, che ora sono alti, si potranno abbassare notevolmente. Come è avvenuto per l'automobile, il prolungamento della giovinezza sarà prima privilegio esclusivo dei ricchi e dei potenti, un nuovo "status symbol"; poi diventerà un'esigenza indotta primaria per un numero di sessantenni sempre più vasto. Infine diventerà un problema di giustizia sociale.

Forse ciò si tradurrà in un vantaggio anche per la spesa pubblica, che con una distribuzione generalizzata dell'ormone attraverso prestazioni mutualistiche potrà risparmiare sull'assistenza agli anziani divenuti più autosufficienti. La disponibilità dell'ormone sarà sentita come un vantaggio della collettività e quindi come un diritto di tutti...

Di tutti? Temo a questo punto di dover gettare acqua sul fuoco. Innanzitutto ci vorrà tempo perché questo uso "non convenzionale" trovi consensi sufficienti e una base sperimentale larga e protratta nel tempo da essere accettata dalle diverse farmacopee ufficiali. Per molto tempo resterà "oggetto di desiderio" di vecchi ricchi che fanno parte del mondo ricco. Quanto a quelli del mondo povero che oggi non riusciamo neanche a nutrire, dei miliardi di indiani, di asiatici, di neri, dovranno aspettare un bel po'. Il mondo, nonostante il continuo balenare di istanze egualitarie, continua ad alimentare le differenze. Infine, dubito che l'ormone della crescita ridurrà le malattie e tanto meno che allungherà la vita.

Questo potrebbe essere un vantaggio. L'immortalità aumenterebbe notevolmente i nostri problemi, se non altro quelli di spazio. Ma non pensa che certi ruoli potrebbero sparire definitivamente? E con loro i nonni, quelli con i capelli bianchi che raccontano le favole ai nipoti...?

Già così mi sembrano in forte diminuzione. Ma, per restare nella metafora che i nonni canuti suggeriscono, mi sembra che l'ormone potrebbe cambiare qualcosa di ben più importante del mercato o della qualità di vita dei nostri ultimi anni. Qualcosa di molto profondo nella nostra affettività, nelle motivazioni, nel sentimento stesso di come percepiamo la vita. Modificare l'orologio biologico non potrà non avere effetti complessi nel mondo della complessità in cui viviamo.

foto di gruppo

Settima onda

In questa rubrica l'*Immaginario Scientifico Notizie* intende presentare di volta in volta associazioni, gruppi, circoli di Trieste e della regione, impegnati, talvolta senza riconoscimenti o appoggi "ufficiali", in settori della cultura scientifica, tecnica e sociale.

Il nome • La settima onda, si dice, è quella più alta. Un augurio di riuscita è dunque implicito nel senso di questo nome, scelto da un gruppo di donne per l'associazione, costituita ufficialmente nel luglio 1988, che ha l'intento di approfondire la conoscenza di tutti gli aspetti della condizione femminile: dalla storia delle donne agli attuali problemi della salute e della condizione giuridica.

Gli obiettivi • Non è solo la ricerca teorica (antropologica, storica, sociologica, medica, giuridica) il fine de *La settima onda*. L'associazione intende promuovere attività e servizi utili a migliorare la qualità della vita delle donne, svolgendo anche gratuitamente attività assistenziali. Si tratta di intervenire principalmente su alcuni problemi cruciali: la salute, la sessualità e la procreazione, la vita familiare.

Le socie • La gamma degli interessi dell'associazione si rispecchia nelle professioni delle socie: ricercatrici, insegnanti, personale medico e paramedico, una psicologa, una segretaria giudiziaria, una ragioniera. Unico denominatore comune, oltre dell'essere donne, è forse occuparsi, genericamente, di servizi. Nessuna manager, almeno per ora.

Vivere il parto • Nel marzo di quest'anno si è tenuto a Trieste il convegno "Vivere il parto", organizzato oltre che da *La settima onda*, da altre organizzazioni femminili (Arcidonna, UDI "La mimosa", Cgil Centro Donna, Gruppo Ricerca Assistenza Maternità). Molto approfondito e interessante il dibattito. Citiamo qualcuno dei numerosi interventi, che mostrano alcuni degli interessi teorici dell'associazione. La storica Nadia Filippini, illustrando due scuole del pensiero medico del XIII secolo, ha messo in risalto l'attualità della contrapposizione (già settecentesca) di ostetricia naturale e chirurgica; la ginecologa Anita Regalia ha analizzato le procedure ospedaliere di assistenza al parto, che non sempre vengono dettate da una reale necessità medica; l'ostetrica tedesca Dagma-Hartung von Doetinchem ha proposto l'esperienza di una casa-parto gestita da ostetriche a Berlino, un'alternativa sia al parto in casa sia all'ospedalizzazione. Da Trieste la psicologa Patrizia Romito ha parlato di quanto concerne il benessere psicofisico delle partorienti; la sociologa Adriana Janezic ha fatto conoscere la normativa attuale e i nuovi progetti di legge; e la semiologa Marina Sbisà ha analizzato gli aspetti linguistico-relazionali del momento della gravidanza e del parto. Sono temi che si potranno ritrovare negli atti in corso di preparazione.

Il telefono rosa • All'assistenza diretta delle donne è invece dedicata l'iniziativa del *Telefono rosa* (cogestita da *La settima onda*, Arcidonna, Udi "La mimosa"); una ventina di volontarie, il lunedì dalle 10 alle 12 e il venerdì dalle 15 alle 17, rispondono al numero 040/367879 per offrire un primo aiuto a donne vittime di violenze, discriminazioni, soprusi. In un anno e mezzo di attività il *Telefono rosa* ha ricevuto appelli per duecento casi di violenza.

I progetti futuri • Al primo posto la formazione di un centro di documentazione in cui raccogliere capillarmente materiale documentario sulla condizione della donna in Italia e all'estero, nell'ambito di una biblioteca specializzata sul tema "I percorsi dell'identità femminile".

Per ulteriori informazioni • Ci si può rivolgere alla sede de *La settima onda* a Trieste, in via Machiavelli 9.

l'angolo del matematico

Un universo binario a molte dimensioni

di *Andrea Sgarro*,
Dipartimento
di matematica,
Università
di Trieste

L'intuizione geometrica trae origine e si alimenta dalla nostra esperienza dello spazio fisico "normale" (*euclideo*, direbbero i matematici); essa tuttavia, grazie a sottili processi di astrazione e "metaforizzazione", si rafforza e si estende. Questo "cappello" iniziale vi suonerà un po' filosofico, e forse vi indurrà a credere che io abbia in mente cose come la "distanza" che separa due persone che si guardano in cagnesco, e che pure stanno, nello spazio euclideo, a contatto di gomito. E invece voglio parlarvi di matematica "dura", tecnica più che filosofica. Saprete senz'altro che il linguaggio interno del calcolatore è binario, le parole che esso capisce sono scritte utilizzando un misero alfabeto di due soli simboli o lettere che per convenzione chiamiamo "zero" e "uno". Queste parole (o *byte*, nel gergo degli informatici) hanno di solito una lunghezza fissa, che spesso è di 8 simboli. I byte distinti sono allora 2^8 in tutto, ossia 256 (*). Un ben misero vocabolario, se il termine "parola" non fosse qui usato in un senso molto astratto: in realtà le parole "vere", toscane, diventano nel calcolatore sequenze di byte lunghe e complesse.

Distanza e sfere di Hamming

Abbandoniamo il toscano e rientriamo nello *spazio* delle 256 parole binarie di lunghezza 8 (notate il termine geometrico? esso è giustificato dal fatto che possiamo definire il concetto di distanza di due byte ed esprimerla con dei numeri, così come nello spazio euclideo si misura la distanza fra due punti esprimendola in centimetri, metri o chilometri). Quand'è che in questo spazio due parole o byte sono "vicini"? Per esempio, di questi due byte, **00011000** e **10111111**, quale vi sembra più vicino al byte **00000000**? Il primo, va da sé, visto che differisce dal byte di soli due zero in due posizioni e non in sette! Benissimo: possiamo allora dare la seguente definizione (notate il piglio matematico): *la distanza fra due byte è il numero di posizioni in cui essi differiscono.* Badate, non stiamo giocando: la distanza di Hamming (così essa si chiama) è uno strumento prezioso della matematica finita, dell'informatica teorica, della teoria dei codici, ecc. ecc. (fu appunto nei suoi fondamentali lavori sui codici correttori di errori che Richard Hamming la introdusse negli anni '50). Nella teoria dei codici hanno una grande importanza le *sfere* di Hamming (la nostra geometria si arricchisce, dunque!). Nello spazio euclideo una sfera di centro **P** e raggio **r** (espresso in centimetri, metri o altra unità di misura) è costituita dall'insieme dei punti che distano dal centro al più **r**. Ebbene, non c'è nessuna difficoltà a passare nello spazio delle parole di lunghezza 8 (o di qualsiasi altra lunghezza prefissata): fissato il centro **P**, che ora sarà di un byte, per esempio cf17 00000000, e il raggio **r**, stavolta un numero intero, la sfera di Hamming è l'insieme dei byte la cui distanza (di Hamming!) dal centro è al più pari al raggio. In altre parole la sfera di Hamming è costituita da tutti i byte che differiscono dal byte-centro al più in **r** posizioni. E il volume della sfera? e la superficie? Qui la fantasia deve un po' volare (siamo in uno spazio discreto e finito, una bella differenza rispetto allo spazio euclideo, che è continuo e infinito, ciò che implica che le distanze possono essere piccole e grandi quanto si vuole; nel nostro caso le distanze minime sono **0** e **1**, senza valori intermedi, mentre la massima è **8**). Ecco due ottime proposte. Definizione prima: *il volume di una sfera è il numero dei byte che la costituiscono.* Definizione seconda: *la superficie di una sfera è il numero dei byte la cui distanza dal centro è esattamente uguale al raggio* (i byte più esterni, insomma). Volumi e superfici sono dunque numeri interi: ad esempio la sfera di centro **00000000** e raggio 2 ha superficie 28 e volume 37 (il centro, gli 8 byte in cui il simbolo compare una volta, più i 28 byte in cui esso compare 2 volte) Nella nostra geometria vige un curioso teorema: *il volume di una sfera è uguale alla somma delle superfici delle sfere ad essa concentriche di raggio 0, 1, 2,... r* (la sfera di raggio 0 si riduce al suo centro e ha superficie 1; altre sfere curiose sono quelle di raggio 8, che esauriscono tutto lo spazio). Qual è la formula per calcolare il volume e la superficie? Provateci voi. Vi dico solo che in essa non c'è traccia di pi greco, ma in cambio compaiono i coefficienti binomiali. Le sfere di Hamming non sono un giocattolo per matematici estetizzanti, bensì uno strumento prezio so nella teoria dei codici e in tutta l'informatica teorica. Con esse si possono fare dei giochi divertenti. Li vedremo insieme nel prossimo numero.

(*) Ci sono due byte di lunghezza 1, lo **0** e l' **1**, quattro (cioè 2^2) byte di lunghezza due: **00, 01, 10** e **11**; otto (cioè 2^3) byte di lunghezza 3: **000, 001, 010, 011, 100** e **101, 110** e **111**; così continuando, i byte di lunghezza otto si trovano da quelli di lunghezza sette aggiungendo in coda a ciascuno uno **0** oppure un **1**; in tal modo il loro numero raddoppia: da 2^7 si passa a 2^7x2 2^8.